

Effet de l'optimisation de la chaîne logistique sur
l'agilité des réseaux d'entreprises

Mémoire présenté à :
Université du Québec à Trois-Rivières

Comme exigence partielle de la
Maîtrise en génie industriel (M.Sc.)

Par
Cynthia Lavoie

École d'ingénierie de l'Université du Québec à Trois-Rivières
Département de génie industriel

mai 2003

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier les personnes suivantes : M.Georges Abdul-Nour, directeur de recherche, pour son temps, son support technique et moral; messieurs Pierre Plourde, Daniel Maheu et madame Sarah Holtmann de Bombardier Produits récréatifs, pour leur temps; les entreprises consultées pour leur temps et leur collaboration ainsi que mes parents pour leur support. Je remercie également messieurs René Rochette et Jocelyn Drolet pour leur temps et leur rigueur lors de la lecture de ce mémoire.

EFFET DE L'OPTIMISATION DE LA CHAÎNE LOGISTIQUE SUR L'AGILITÉ DES RÉSEAUX D'ENTREPRISES

Cynthia Lavoie
(Sommaire)

Pour les entreprises d'aujourd'hui, les défis sont de plus en plus grands : garder leurs parts de marché et des profits acceptables dans un milieu de concurrence exigeant et dynamique. Devant une telle situation, elles doivent être agiles et répondre rapidement à une demande de plus en plus personnalisée et changeante. Cette agilité dépend de la flexibilité sinon de l'agilité de sa chaîne d'approvisionnement et de l'efficacité de son réseau de fournisseurs. La synchronisation de la production de plusieurs fournisseurs et d'une entreprise donneur d'ordres est donc nécessaire et repose, entre autres, sur l'optimisation d'un système intégré de production-inventaire-distribution (PID), ceci pour éviter le transfert des inventaires chez les fournisseurs. L'objectif de cette recherche est d'étudier les effets de quelques facteurs qualitatifs et quantitatifs sur un système PID entre un donneur d'ordres et ses fournisseurs organisés en réseau de production, dans le but d'optimiser le système, de diminuer le coût global du produit et d'augmenter la flexibilité et l'efficacité du réseau. L'objectif ultime de ce réseau est d'atteindre l'agilité et la production mixte. Par conséquent, une chaîne de valeur du système, un design expérimental et une comparaison quantitative de divers systèmes ont été conçus. Nos observations nous ont amenés à la conclusion suivante : l'optimisation de la distribution, transport seulement, amène à un transfert des inventaires donc des coûts vers les fournisseurs, ce qui crée des problèmes de logistique interne et entraîne une augmentation des coûts globaux du réseau. De plus, certains paramètres du réseau doivent être observés avant de déterminer la stratégie de distribution à adopter. Finalement, l'optimisation de la chaîne logistique à l'intérieur d'un système intégré PID peut permettre aux réseaux d'entreprises d'exploiter pleinement leur agilité.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	i
SOMMAIRE.....	ii
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES FIGURES	viii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : Problématique	3
1.1 État actuel	3
1.2 Résultats visés	5
1.3 Méthode utilisée	5
CHAPITRE 2 : Concepts importants.....	7
2.1 Logistique.....	7
2.2 Chaîne logistique.....	8
2.3 Agilité	12
2.4 Réseaux d'entreprises.....	14
2.5 L'agilité dans la chaîne logistique et les réseaux d'entreprises.....	16
2.6 La PME	17
2.7 La PME dans la chaîne logistique agile	18
CHAPITRE 3 : Modèles conceptuels.....	21
3.1 Modèle de Lambert	21
3.2 Étude de Cavinato.....	23
3.3 Modèle à quatre dimensions de Poirier et Reiter	24
3.4 Modèle de Mentzer et al.	24
3.5 Conclusions.....	25
CHAPITRE 4 : Modèles de système de production-distribution	26
4.1 Tournée de véhicules	26
4.2 Système de production-distribution.....	28
4.2.1 Revues de littérature.....	28
4.2.1.1 Sarmiento et Nagi.....	28
4.2.1.2 Thomas et Griffin	29
4.2.1.3 Bhatnagar, Chandra et Goyal	29
4.2.2 Articles choisis.....	30
4.2.3 Modèle de Chandra et Fisher	37
4.2.4 Modèle de Haq et al.....	40
4.3 Techniques de résolution	43
4.3.1 Simulation.....	46
4.3.2 Design expérimental.....	46
4.4 Résumé.....	48

CHAPITRE 5 : Méthodologie	53
5.1 Cas à l'étude	53
5.2 Méthodologie détaillée	55
CHAPITRE 6 : Modèle mathématique	57
6.1 Variables et hypothèses	57
6.2 Fonction objective	60
6.3 Contraintes	62
CHAPITRE 7 : Chaîne de valeur	63
7.1 Diagramme de processus	63
7.2 Activités à non-valeur ajoutée	67
7.3 Problèmes majeurs et causes	69
7.4 Matrice en T	70
7.4.1 Conception de la matrice en T	71
7.4.2 Interprétation de la matrice en T	73
7.5 Conclusion	76
CHAPITRE 8 : Design expérimental	77
8.1 Expérience	77
8.1.1 Choix des variables dépendantes	77
8.1.2 Choix des variables indépendantes	77
8.1.3 Choix des niveaux des variables	78
8.2 Design	79
8.3 Analyse	80
8.3.1 Collecte de données	80
8.3.2 Tests statistiques	80
8.4 Conditions du test	80
8.5 Résultats	82
8.5.1 Facteurs significatifs	82
8.5.2 Coût total	83
8.6 Interprétation des résultats	88
8.7 Conclusion	89
CHAPITRE 9 : Simulation globale	90
9.1 Systèmes à l'étude	90
9.1.1 Système de tournée de véhicules	90
9.1.2 Système avec transports directs	91
9.1.3 Système avec entrepôt de distribution	92
9.2 Coûts	92
9.3 Facteurs	93
9.4 Design expérimental	93
9.5 Résultats	95
9.5.1 Résultats par fournisseur	95

9.5.2	Résultats globaux	96
9.5.3	Résultats des tests statistiques.....	97
9.6	Interprétation.....	104
9.6.1	Interprétation des résultats par fournisseur.....	104
9.6.2	Interprétation des résultats globaux	105
CHAPITRE 10 : Recommandations et conclusion générale		107
10.1	Recommandations	107
10.1.1	Recommandations pour le donneur d'ordres	107
10.1.2	Recommandations pour les fournisseurs	108
10.2	Conclusion générale	109
CONCLUSION		111
RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE		114
ANNEXE A : Questionnaire aux fournisseurs		118
ANNEXE B : Plan et graphique linéaire pour le design expérimental par fournisseur.....		121
ANNEXE C : Exemple de feuille de calculs utilisée pour la simulation		123
ANNEXE D : Résultats détaillés des expériences par fournisseur		125
ANNEXE E : Programme SAS pour les coûts totaux par fournisseur.....		130
ANNEXE F : Résultats des tests de Newman-Keuls par fournisseur		135
ANNEXE G : Plan et graphique linéaire pour le design expérimental global.....		144
ANNEXE H : Formules de calcul des coûts pour la simulation globale.....		147
ANNEXE I : Exemple de feuille de calcul pour la simulation globale.....		152
ANNEXE J : Programme SAS pour les coûts totaux par type de système.....		156
ANNEXE K : Résultats détaillés par type de système		160
ANNEXE L : Résultats des tests de Newman-Keuls pour le design global		171

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I :	Catégories et auteurs selon Sarmiento & Nagi (2001)	28
Tableau II :	Catégories et auteurs selon Thomas et Griffin (1996)	29
Tableau III :	Catégories et auteurs selon Bhatnagar, Chandra et Goyal (1993).....	30
Tableau IV :	Articles choisis pour l'étude du système de production-inventaire-distribution	31
Tableau V :	Articles choisis pour l'étude du système distribution-inventaire	31
Tableau VI :	Modèles pour un système de production-distribution	32
Tableau VII :	Modèles pour un système de tournée de véhicules-inventaire	35
Tableau VIII :	Paramètres du modèle de Chandra et Fisher (1994)	37
Tableau IX :	Variables du modèle de Chandra et Fisher (1994)	38
Tableau X :	Liste des hypothèses pour le modèle de Haq et al.	40
Tableau XI :	Variables et paramètres du modèle de Haq et al.....	41
Tableau XII :	Éléments du coût total	49
Tableau XIII :	Contraintes	52
Tableau XIV :	Méthodologie du projet	56
Tableau XV :	Définition des variables.....	58
Tableau XVI :	Définition des paramètres.....	58
Tableau XVII :	Hypothèses et contraintes	59
Tableau XVIII :	Activités à non-valeur ajoutée et/ou problèmes selon l'étape du processus.....	67
Tableau XIX :	Problèmes principaux et causes reliées	69
Tableau XX :	Points à retenir et commentaires relatifs à la matrice en T. 73	
Tableau XXI :	Variables indépendantes pour design par fournisseur.....	78

Tableau XXII :	Liste des données utilisées.....	79
Tableau XXIII :	Facteurs significatifs pour les divers coûts étudiés.....	82
Tableau XXIV :	Variables indépendantes pour le design global	94
Tableau XXV :	Systèmes les plus et les moins dispendieux par test.....	96
Tableau XXVI :	Variables ayant un impact significatif sur le coût total selon le type de systèmes	104
Tableau XXVII :	Recommandations pour le donneur d'ordres.....	107
Tableau XXVIII :	Recommandations pour les fournisseurs.....	109

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Type de chaîne logistique étudié	3
Figure 2 :	Modèle intégré d'une chaîne logistique agile (Christopher et Towill, 2001).....	17
Figure 3 :	Représentation de la chaîne logistique selon Lambert et al.....	21
Figure 4 :	Modèle conceptuel de Lambert et al.	22
Figure 5 :	Types de chaînes logistiques selon Joseph L. Cavinato.....	23
Figure 6 :	Modèle de la chaîne logistique selon Poirier et Reiter	24
Figure 7 :	Modèle de la chaîne logistique selon Mentzer et al.	25
Figure 8 :	Fonction objective et contraintes du modèle de Chandra et Fisher.....	38
Figure 9 :	Fonction objective et contraintes du modèle de Haq et al.....	42
Figure 10 :	Performance des heuristiques et métaheuristiques de tournée de véhicules à contraintes de capacités et/ou distances.....	44
Figure 11 :	Modèle conceptuel du réseau de la Chaire Bombardier	54
Figure 12 :	Tournée des véhicules.....	55
Figure 13 :	Fonction objective	60
Figure 14 :	Contraintes.....	62
Figure 15 :	Diagramme de processus	64
Figure 16 :	Matrice en T	72
Figure 17 :	Anova coût total fournisseur 1.....	84
Figure 18 :	Coût global en fonction des niveaux des facteurs significatifs fournisseur 1	84
Figure 19 :	Anova coût total fournisseur 2.....	85
Figure 20 :	Coût global en fonction des niveaux des facteurs significatifs fournisseur 2	85
Figure 21 :	Anova coût total fournisseur 3.....	86
Figure 22 :	Coût global en fonction des niveaux des facteurs significatifs fournisseur 3	86

Figure 23 :	Anova coût total fournisseur 4.....	87
Figure 24 :	Coût global en fonction des niveaux des facteurs significatifs fournisseur 4	87
Figure 25 :	Système de tournée de véhicules	91
Figure 26 :	Système avec transports directs	91
Figure 27 :	Système avec entrepôt de distribution	92
Figure 28 :	Résultat Anova tournée de véhicules.....	98
Figure 29 :	Coût total en fonction des niveaux des variables significatives pour la tournée de véhicules.....	99
Figure 30 :	Résultat Anova transports directs	100
Figure 31 :	Coût total en fonction des niveaux des variables significatives pour des transports directs	101
Figure 32 :	Résultat Anova entrepôt de distribution	102
Figure 33 :	Coût total en fonction des niveaux des variables significatives pour entrepôt de distribution	103
Figure 34 :	Exemple d'étude d'optimisation par modules et/ou régions	113

Introduction

Les exigences des clients étant devenues de plus en plus imprévisibles, le défi de compétitivité s'avère de plus en plus grand pour les entreprises : il faut stabiliser ou augmenter ses parts de marché et faire des profits acceptables dans un environnement exigeant et aléatoire. Pour ce faire, les entreprises doivent avoir l'habilité de prospérer dans cet environnement et répondre rapidement à la demande afin de satisfaire ses clients. C'est alors que l'on parle d'« agilité ».

Par ailleurs, cette rapidité à répondre aux besoins grandissants et variés des clients dépendra de la rapidité de l'approvisionnement qui sera facilitée par la présence de fournisseurs agiles.

Plus spécifiquement, les fournisseurs devront se munir d'opérations synchronisées avec leurs donneurs d'ordres. En effet, cette recherche se veut une étude de la planification synchronisée de la production et de la distribution de fournisseurs vers un donneur d'ordres.

Plus précisément, l'étude actuelle se situe au niveau de la chaîne d'approvisionnement d'une grande entreprise donneur d'ordres. Les relations entre certains fournisseurs de niveau 1 et un donneur d'ordres seront observées. Ce système sera appelé « système de production-inventaire-distribution » ou « PID » tout au long de ce rapport.

Les conditions du système de cette partie de la chaîne logistique engendrent souvent des problèmes menant à une augmentation des délais et des inventaires causant un accroissement des coûts.

Le système PID et ses conditions d'opération seront donc analysées dans le but de déterminer les pratiques de distribution à adopter selon le contexte. Les résultats suivants sont donc attendus : liste des facteurs qualitatifs et quantitatifs ayant un effet significatif et leur impact sur le coût global du produit et le fonctionnement du réseau.

Pour valider le modèle, l'étude d'un cas réel sera effectuée. Le système de distribution d'abord observé sera une tournée de véhicules décrite plus loin. Ce système est déjà utilisé par le donneur d'ordres impliqué dans l'étude. L'étude actuelle verra donc à comparer cette pratique avec deux autres alternatives et à recommander la meilleure façon de faire, selon les conditions du système.

D'abord, une revue de la littérature actuellement disponible sur le sujet sera faite. Par la suite, un modèle mathématique ayant comme objectif la minimisation des coûts pour une tournée de véhicules sera conçu. Ensuite, dans le but d'analyser les facteurs qualitatifs, une chaîne de valeur des opérations du système PID sera établie.

Pour effectuer une première étude des facteurs quantitatifs affectant la tournée de véhicules et déterminer les facteurs ayant un effet significatif sur le coût total pour les fournisseurs, un design expérimental sera utilisé. Par la suite, pour comparer diverses pratiques, une simulation, accompagnée d'un design expérimental, permettront d'obtenir les stratégies à adopter pour minimiser les coûts globaux. Finalement, il sera possible de voir comment l'optimisation de la chaîne logistique peut aider les réseaux d'entreprises à exploiter pleinement leur agilité.

Le rapport actuel se divise donc comme suit : problématique, revue des concepts importants (incluant les termes, modèles conceptuels et mathématiques), méthodologie, modèle mathématique, chaîne de valeur, design expérimental, simulation, conclusion et recommandations.

CHAPITRE 1 PROBLÉMATIQUE

1.1 État actuel

Les chaînes logistiques des grandes entreprises comprennent souvent plusieurs niveaux et plusieurs entités par niveau. À cet effet, la figure 1 donne un aperçu d'une chaîne logistique s'apparentant à celle qui sera étudiée. Le pointillé donne la partie étudiée dans le cadre de cette recherche, comprenant uniquement les fournisseurs de niveau 1 et un donneur d'ordres.

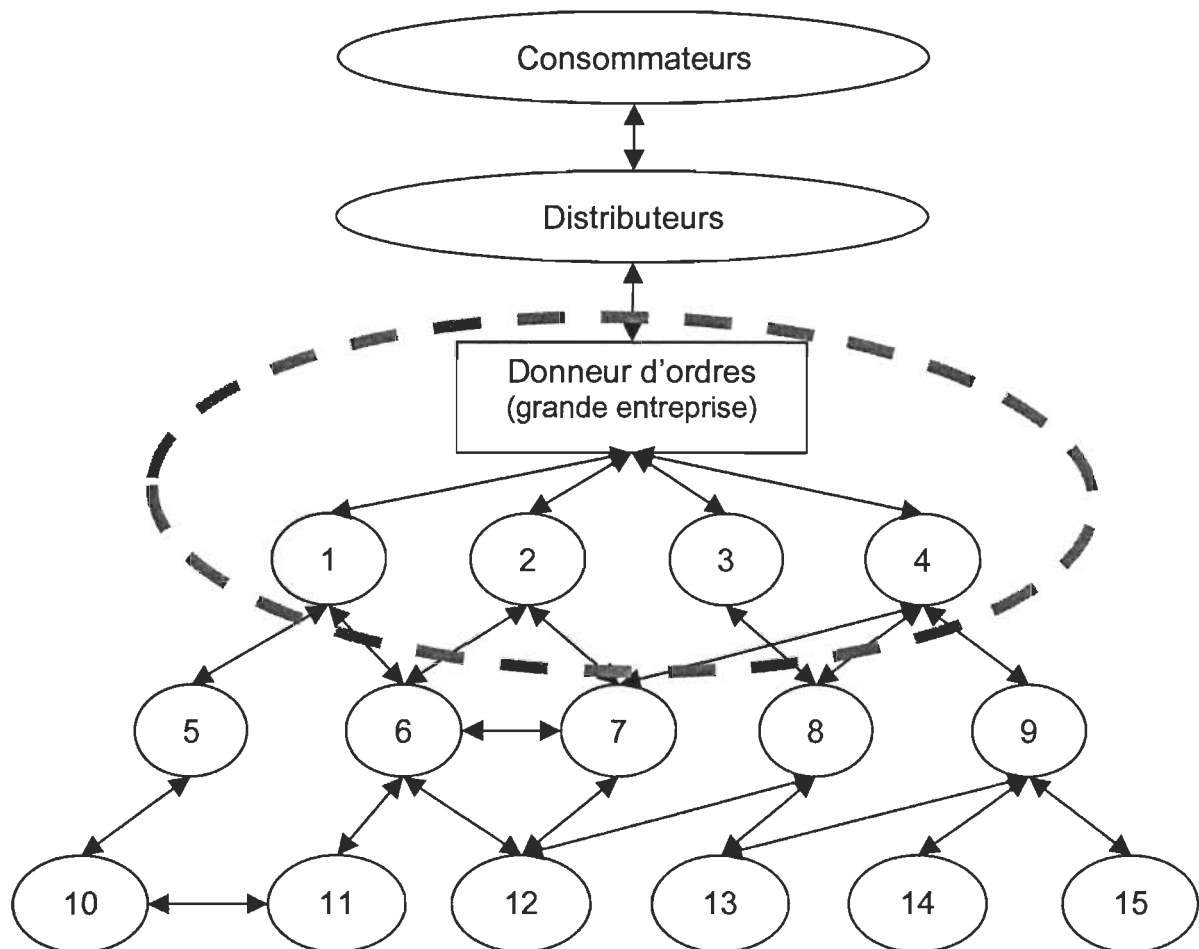


Figure 1. Type de chaîne logistique étudié

Les fournisseurs de niveau 1 sont en lien direct avec le donneur d'ordres. Il est possible pour eux de fournir uniquement des composantes ou des sous-assemblages. Le donneur d'ordres utilisera ces composantes ou sous-assemblages pour faire l'assemblage final du produit pour ensuite le livrer aux distributeurs (ou concessionnaires) qui les vendront aux consommateurs finaux.

Le système particulièrement étudié sera le système de production-inventaire-distribution (PID) reliant le donneur d'ordres à ses fournisseurs de niveau 1. Principalement, les étapes du système observées seront : lancement des commandes chez le donneur d'ordres, arrivée et traitement de la commande, mise en route, production et inventaire des pièces chez le fournisseur, distribution vers le donneur d'ordres, inventaire et taux de consommation chez ce dernier.

Actuellement, certains problèmes surviennent au niveau des opérations détaillées plus haut. Entre autres, le manque de synchronisation et d'intégration des opérations mènent à une augmentation des délais et des inventaires. Par conséquent, les coûts d'exploitation du système se voient augmentés.

Du point de vue des fournisseurs, les problèmes causés par ce manque de synchronisation sont nombreux allant de l'augmentation des coûts dus aux difficultés de planification à l'augmentation des inventaires de produits finaux, passant par l'augmentation de divers coûts de gestion. Du côté du transport, l'attente des camions, le transport par des camions peu chargés et les modifications dans les cédules de transport augmentent les coûts. Finalement, pour le donneur d'ordres, les arrêts de ligne dus aux retards de livraison, les pertes en ventes et l'espace supplémentaire requis pour l'entreposage sont aussi des problèmes devant être résolus.

1.2 Résultats visés

Afin d'analyser les problèmes mentionnés ci-haut, il est pertinent de faire l'étude du système PID. Le premier résultat voulu sera de connaître les facteurs qualitatifs et quantitatifs qui affectent une pratique actuellement utilisée par le donneur d'ordres : la tournée de véhicules. Dans un deuxième temps, une comparaison quantitative sera effectuée, dans le but de voir si, selon le contexte, d'autres pratiques de distribution seraient plus appropriées. Les résultats voulus se résument donc à :

- Liste des facteurs qualitatifs qui affectent l'efficacité d'une tournée de véhicules.
- Liste des facteurs quantitatifs qui affectent le coût d'exploitation du système PID dans l'utilisation d'une tournée de véhicules.
- Autres pratiques à utiliser selon les conditions du système PID.
- Effet de l'optimisation du système PID sur l'agilité du réseau.

1.3 Méthode utilisée

Afin d'atteindre ces résultats, certaines étapes devront être effectuées. La première étape, documentée dans les chapitres 1 à 4, consiste en une recherche bibliographique. Cette recherche servira d'abord à comprendre les concepts importants à l'étude du système PID tels la logistique, la chaîne logistique et l'agilité. Par la suite, les modèles conceptuels serviront à connaître les types de chaînes logistiques, de bien comprendre les interactions entre les niveaux de ces chaînes et de voir l'importance de ces liens au niveau organisationnel, mais surtout au niveau opérationnel. Ensuite, les modèles mathématiques de systèmes PID serviront à connaître les facteurs déjà utilisés par d'autres auteurs pour cerner les contraintes et la fonction objective.

Une méthodologie pourra alors être établie. Cette méthodologie comportera 3 volets :

- Étude du système actuel de tournée de véhicules (qualitative et quantitative).
- Comparaison avec deux autres types de systèmes (quantitative)
- Recommandations pour optimiser le système, réduire les coûts du produit et augmenter la flexibilité et l'agilité du réseau.

L'étude du système actuel et la comparaison avec d'autres systèmes seront effectués à l'aide de designs expérimentaux et de simulations déterministes. Les données utilisées seront recueillies chez quatre fournisseurs d'une grande entreprise donneur d'ordres qui utilise actuellement une tournée de véhicules.

CHAPITRE 2

CONCEPTS IMPORTANTS

2.1 Logistique

Puisque la logistique est un terme clé de cet ouvrage, il importe de la définir et de voir son interaction avec les autres concepts. D'abord, Baglin et al. (2001) soulignent que la chaîne logistique est apparue suite à l'évolution de la logistique. En effet, la logistique a vu le jour il y a plusieurs années dans le domaine militaire comme étant la « partie de l'art militaire qui regroupe les activités cohérentes permettant aux armées en campagne de vivre, se déplacer et combattre dans de meilleures conditions d'efficacité ». Par la suite, les armées changèrent la définition par le domaine « concerné par tous les problèmes relatifs au ravitaillement de toutes natures, à leur acheminement (ainsi qu'aux communications) ainsi qu'à leur distribution par l'intermédiaire de bases de transit et d'opérations ».

C'est donc seulement en 1977 que James L. Heskett, professeur à Harvard, donna la première définition civile s'appliquant aux entreprises : « ensemble des activités qui maîtrisent les flux de produits et coordonne les ressources, en réalisant un niveau de service donné, au moindre coût ». Cette définition a ensuite évolué pour inclure la circulation de l'information et donner des précisions sur l'origine et la destination des flux. D'ailleurs, le CLM (Council of Logistics Management) définit la logistique comme la « partie de la chaîne logistique qui planifie, implante et contrôle de façon efficace les flux et le stockage des biens et services et l'information d'un point d'origine à un point de consommation dans le but de se conformer aux besoins des clients ».

D'un autre côté, d'après Ballou (1992), la logistique est l'essence de l'échange et elle contribue à améliorer la qualité de vie. En effet, la logistique fait le pont entre la production et le marché, souvent éloignés en temps et en distance. D'ailleurs, il souligne que le premier livre suggérant les bénéfices de la gestion de la logistique est apparu en 1961. Il qualifie aussi la définition du CLM comme étant bonne à deux exceptions près : elle donne l'impression que la logistique concerne uniquement le flux de matériel physique; elle implique que le logisticien est concerné uniquement par le flux de biens de et vers son entreprise. Donc, Ballou redéfinit la mission de la logistique comme étant « de recevoir les bons biens ou services à la bonne place, au bon moment et dans les conditions désirées tout en ayant la meilleure contribution pour l'entreprise ».

2.2 Chaîne logistique

Comme mentionné plus tôt, la chaîne logistique provient de l'évolution de la logistique. En fait, elle intègre la gestion encore plus en amont et en aval de l'entreprise pour ainsi couvrir l'ensemble des flux physiques, d'information et financiers des clients des clients jusqu'aux fournisseurs des fournisseurs (Baglin et al.2001).

Aussi, les concepts reliés à la gestion de la chaîne logistique sont apparus suite à l'évolution des pratiques de gestion. En effet, dans les années 1950-1960, les entreprises visaient une production de masse afin de réduire le coût unitaire de leurs produits. Un peu plus tard, dans les années 1970, elles commencèrent à réaliser l'impact négatif que pouvaient avoir de telles pratiques sur les en-cours, la qualité et les délais de livraison. C'est à ce moment que de nouveaux concepts de gestion tel le MRP II (Manufacturing Ressource Planning) ont commencé à être utilisés. Par contre, de plus en plus, les clients demandèrent des produits à moindre coût, de bonne qualité, avec une fiabilité élevée et un design flexible. À ce moment, les entreprises réalisèrent l'importance de gérer non seulement leurs propres opérations, mais aussi celles de la chaîne logistique qui leur était reliée.

Le concept de « supply chain management » est donc apparu pour la première fois en 1982 (Oliver & Webber 1982 dans Cooper et al. 1997). Par contre, les principes fondamentaux sur lesquels le « supply chain management » tient sont apparus dans les années 1960. À l'époque où le terme fut apporté, la chaîne logistique était limitée par le flux de biens allant du fournisseur à la production puis vers la chaîne de distribution et les clients. D'ailleurs, à ses débuts, le terme mettait l'accent sur la réduction de l'inventaire et, à plusieurs reprises, la gestion de la chaîne logistique a été confondue et interprétée comme étant de la logistique étendue aux liens inter-organisationnels (Cooper et Al. 1997).

Par la suite, Stevens (1989) (dans Towill 1996) étendra ces limites pour inclure la source en allant jusqu'au point de consommation. La définition qui en résulta est, d'après Cooper et al.(1997), la plus acceptée dans la littérature et se lit comme suit :

Un système dont les parties constitutantes incluent les fournisseurs de matériel, les installations de production, les services de distribution et les clients reliés ensemble via le flux aval de matériel et le flux rétroactif d'information (dans Towill 1996).

Scott et Westbrook (1991) et New & Payne (1995) ajoutent à cette définition la considération de la chaîne logistique comme étant une entité « virtuelle » unifiée ce qui donne la définition suivante : *Chaîne liant chaque élément du processus manufacturier et d'approvisionnement du matériel brut aux utilisateurs finaux, qui traite chaque entreprise dans la chaîne comme une entité virtuelle unifiée(dans Tan 2002).*

Une autre formulation est utilisée par le « Global supply chain forum » (1993) : *Intégration des processus d'affaires clés de l'utilisateur final aux fournisseurs de matières premières qui fournissent des produits, services et informations qui*

ajoutent de la valeur pour les clients ou les autres parties intéressées (dans Lambert 2001).

Mentzer et al. (2001), de leur côté, quantifient le nombre de firmes étant impliquées dans une chaîne logistique et préfèrent utiliser la définition suivante : *Groupe d'au moins trois entités directement impliquées dans les flux amont et aval de produits, services, des moyens financiers et/ou informations qui vont d'une source jusqu'à un client.*

Confusions et similitudes dans la littérature

Puisque la littérature est abondante au sujet de la chaîne logistique, plusieurs confusions ont fait surface. Entre autres, le terme « logistique » est souvent utilisé à tort pour décrire la chaîne logistique. Comme déjà mentionné, la logistique se distingue de la chaîne logistique et elle consiste en une « partie » de la chaîne logistique. précisément, la chaîne logistique ne consiste pas en une chaîne incluant des entités ayant des relations une à une, mais plutôt en un réseau de relations avec plusieurs entreprises, ce qui la distingue de la logistique (Lambert 2001).

De plus, une autre distinction doit être faite entre la chaîne logistique et la « gestion » de la chaîne logistique (Mentzer et al. 2001). En effet, une chaîne logistique peut exister, mais peut ne pas être gérée. C'est à dire que, par exemple, deux entreprises peuvent être liées dans une chaîne logistique, mais que ces liens peuvent ne pas être gérés. D'un autre côté, la gestion de cette chaîne est la manifestation concrète d'une orientation chaîne logistique chez les fournisseurs et clients. En effet, cette orientation est nécessaire et consiste en la reconnaissance par l'entreprise des implications systémiques et stratégiques des activités tactiques liées à la gestion des différents flux à l'intérieur de la chaîne.

Dans un autre ordre d'idées, Cooper et al.(1997) distinguent des similitudes entre les définitions de la chaîne logistique dans la littérature. Les voici :

- La chaîne logistique évolue à travers plusieurs stades augmentant ainsi l'intégration et la coordination intra- et inter-organisationnelle et s'étend de la source initiale au client ultime.
- La chaîne logistique implique, potentiellement, plusieurs organisations indépendantes.
- La chaîne logistique inclut le flux bidirectionnel de produits et d'informations ainsi que les activités de gestion et d'opérations y étant associées.
- La chaîne logistique cherche à remplir les objectifs suivants : procurer de la valeur ajoutée pour le client avec une utilisation appropriée des ressources et construire des avantages compétitifs pour la chaîne.

Performance de la chaîne logistique

La performance de la chaîne logistique est aussi un sujet à considérer. D'ailleurs, Beamon(1999) présente des méthodes quantitatives pour connaître les performances d'une chaîne logistique en suggérant 4 catégories de mesure de performance : coût, coût et temps d'activité, coût et satisfaction du client et satisfaction du client et flexibilité.

Cependant, Tan et al. (1998) (dans Tan 2002) considèrent la qualité globale du produit, la position compétitive et le niveau du service à la clientèle comme critères clés de mesure de la performance.

Finalement, D.R. Towill(1996) propose une façon simple de mesurer la performance globale du produit, cette définition étant axée sur le client :

$$PERFORMANCE = \left[\frac{Qualité \times service}{Coût_total \times temps_cycle} \right]$$

2.3 Agilité

Au début des années 1980, les entreprises visaient une plus grande flexibilité, une élimination des gaspillages et une réduction des temps de cycle. C'est à ce moment que les principes de la production à valeur ajoutée furent utilisés (Sheridan 1993 dans Sanchez, Nagi 2001). Dans les années 90, les clients demandèrent un produit de plus en plus spécifique à leurs besoins en un temps très court et ce, à des coûts identiques à ceux de la production de masse. Les entreprises furent donc confrontées à répondre rapidement à cet environnement volatile. C'est à ce moment que le concept de l'agilité est apparu (Sheridan 1993, Struebing 1995, Richards 1996, Nagel & Dove 1991 dans Sanchez & Nagi 2001).

Selon Sanchez & Nagi (2001), pour plusieurs, la différence entre l'agilité et la production à valeur ajoutée est difficile à percevoir. La distinction est que l'agilité est une réponse à la complexité apportée par un environnement imprévisible. Une entreprise agile a donc la flexibilité nécessaire pour adopter les pratiques qui favorisent une plus grande compétitivité.

La recherche actuelle sur l'agilité se divise en neuf catégories majeures : conception du produit et du système manufacturier, planification des processus, planification et contrôle de la production, localisation et conception des installations, système de stockage et manutention, système d'information, chaîne logistique, facteur humain et pratiques et processus d'affaire. (Sanchez & Nagi 2001)

Mason-Jones et al. (2000) parlent aussi d'une distinction à faire entre la production à valeur ajoutée (PVA ou « lean manufacturing ») et l'agilité. Ils considèrent que l'agilité signifie l'utilisation des connaissances du marché et une corporation virtuelle dans un environnement où la demande est volatile. La PVA, de son côté, constitue une approche pour éliminer les gaspillages pour assurer une planification nivelée. Les auteurs proposent d'ailleurs une combinaison des deux approches incluant un point de découplage qui correspond à l'arrivée de la

commande du client. Ce point de découplage correspondant au moment où l'entreprise passe du mode PVA au mode agilité. Ils nomment cette approche le « leagile supply ».

D'un autre côté, Chester (1996) utilise la définition fournie par Lengyel (1994) : *Habilité d'une entreprise de prospérer dans un environnement compétitif de changements continuels et imprévisibles et de répondre rapidement au marché contrôlé par la valorisation du client.*

Upton (1995) compare l'agilité et la flexibilité définissant ainsi la flexibilité comme étant l'aptitude à produire différents produits sur une même ligne et l'agilité comme étant la rapidité à effectuer ces changements (Chester 1996). Il souligne aussi que l'automatisation, souvent utilisée par les entreprises pour devenir plus flexibles, devient moins appropriée pour l'atteinte de l'agilité. Finalement, il éclaire les concepts d'entreprise virtuelle versus l'agilité en évoquant que certains théoriciens affirment qu'aller vers l'entreprise virtuelle c'est devenir agile et que l'entreprise virtuelle est une technique modulaire qu'une compagnie doit utiliser pour augmenter son agilité.

Finalement, Gunasken et Yusuf (2002) différencient aussi l'agilité et la PVA. Ils ajoutent alors la flexibilité et la réactivité aux demandes des clients à l'agilité, la PVA étant plutôt l'élimination des gaspillages.

Ils soulignent aussi que l'agilité doit inclure la qualité des produits et des services et la rapidité de la réponse aux nouvelles opportunités de marché. D'après eux, toutes les définitions de l'agilité incluent les concepts de flexibilité, de réactivité, d'entreprise virtuelle et de technologies de l'information. Ainsi, ils incluent les aspects suivants : marché, planification stratégique, main-d'œuvre et technologies flexibles.

En bref, les auteurs semblent s'entendre sur le fait que le concept de l'agilité doit inclure l'aspect de l'imprévisibilité ou de la volatilité et l'adaptation à ce phénomène.

Finalement, l'agilité permettra aux entreprises d'offrir une panoplie de configurations de produits, au même coût que la production de masse; c'est ce qu'on appellera la production mixte.

2.4 Réseaux d'entreprises

« Seule l'ouverture garantit la vie : l'ouverture sur le marché, l'ouverture sur les partenaires, l'ouverture sur la société » *Hervé Sériex, Le big bang des organisations (cité dans Poulin et al. 1994).*

En effet, toute entreprise gagne à évoluer d'une entreprise château à une entreprise réseau. Contrairement à l'entreprise traditionnelle (de type château), l'entreprise réseau se concentre sur quelques activités qu'elle maîtrise mieux. Elle se forge donc des relations de coopération avec ses concurrents, elle crée des partenariats avec des clients pour la conception, elle améliore ses processus de fabrication avec ses fournisseurs, elle confie à d'autres entreprises certaines de ses activités et elle mise sur ses relations stratégiques pour faire sa marque (Poulin et al.1994).

En fait, l'entreprise réseau donne droit, entre autres, à quatre grands avantages : l'économie d'échelle, l'économie de complexité, l'économie de temps et l'économie de flexibilité. Le réseau étant défini par un ensemble de nœuds et de liens entre ces nœuds, dix types de réseaux existent. Poulin et al. (1994) les classifient en fonction des nœuds. Ils proposent d'ailleurs des moyens de structurer, de gérer et de faire un auto diagnostic de l'entreprise et de son réseau.

D'après Nassimbeni (1998), le terme réseau d'entreprises peut aussi référer à une vaste étendue de liens inter-organisationnels. Trois caractéristiques de base constituent un réseau :

- Le réseau est constitué de plus de deux entreprises autonomes
- La structure légale utilisée habituellement pour la gestion des échanges est un contrat de relations
- Entre les parties, des formes dynamiques de communication et de coordination sont établies pour adapter et synchroniser les activités de chaque nœud avec le système.

Trois types de réseau existent :

- Réseaux d'approvisionnement : la liaison est au niveau opérationnel et inclut la sous-traitance et la chaîne de production.
- Contrats et entreprises conjointes : une seule fonction de chaque entreprise est liée.
- Systèmes industriels régionaux : la liaison est au niveau technique-production.

D'un autre côté, D.R. Towill (1996) souligne que dès qu'une entreprise fait partie de plusieurs chaînes logistiques en même temps, il faut parler de réseautage.

En dernier lieu, la définition d'un réseau d'entreprises selon Bélanger (1999) est la suivante :

Groupe d'au moins trois dirigeants d'entreprise qui coopèrent ou partagent des ressources afin de réaliser un projet en commun ou d'améliorer leur compétitivité.

En conclusion, il importe de souligner que malgré les différentes définitions vues, les auteurs semblent s'entendre sur le fait que les réseaux d'entreprises sont bénéfiques et nécessitent des entreprises étant prêtes à partager.

2.5 L'agilité dans la chaîne logistique et les réseaux d'entreprises

La gestion de la chaîne logistique dans le marché actuel engendre la rapidité à répondre aux demandes des clients. De ce fait, le concept de l'agilité trouve sa place dans la chaîne logistique. Par contre, peu d'articles décrivent concrètement comment mesurer l'agilité dans la chaîne logistique. Cependant, certains auteurs se sont lancés dans cet axe.

Par exemple, Van Hoek et al. (2001) relie explicitement l'agilité à la chaîne logistique. Leur recherche consiste en un audit pour mesurer l'agilité dans la chaîne logistique. Ils établissent ainsi la différence entre le mode traditionnel et agile ainsi que l'impact de ces concepts sur la chaîne logistique.

Ils considèrent donc que la chaîne logistique est un secteur où l'agilité peut être réalisée. De plus, un cadre est établi incluant les points suivants : intégration au réseau, sensibilité aux consommateurs, intégration virtuelle et intégration des processus. Finalement, ils suggèrent d'inclure à leur audit des mesures reliées au service et terminent en donnant des approches agiles à introduire dans la chaîne logistique.

D'un autre côté, Christopher et Towill (2001) démontrent les différentes façons de combiner l'agilité et la production à valeur ajoutée pour amener la chaîne logistique à devenir compétitive dans un environnement volatile et préoccupé par les coûts. Ils débutent leur recherche avec une différenciation des deux concepts et parlent de la façon de les combiner. Ils continuent avec les stratégies à utiliser et terminent avec la présentation de leur modèle intégré pour une chaîne logistique agile, présenté à la figure 2. Ce modèle comprend trois niveaux et évoque la façon dont les auteurs voient une chaîne logistique agile.

Les concepts peuvent aussi être vus d'un autre axe. Comment la chaîne logistique aide-t-elle à atteindre l'agilité? En ce sens, D.R.Towill (1996) fait une relation entre la réduction du temps de cycle et la réduction de l'effet négatif d'une

demande incertaine. En effet, ce lien se trouve en ce sens qu'en réduisant le temps de cycle, la confiance en les prévisions augmente à cause de la réduction de l'horizon sur lequel elle se base. Donc, plus la chaîne logistique aura un temps de cycle bas, plus on pourra atteindre l'agilité dans la chaîne, comme il le mentionnait dans sa formule dans la mesure de l'agilité du réseau (voir section 2.2).

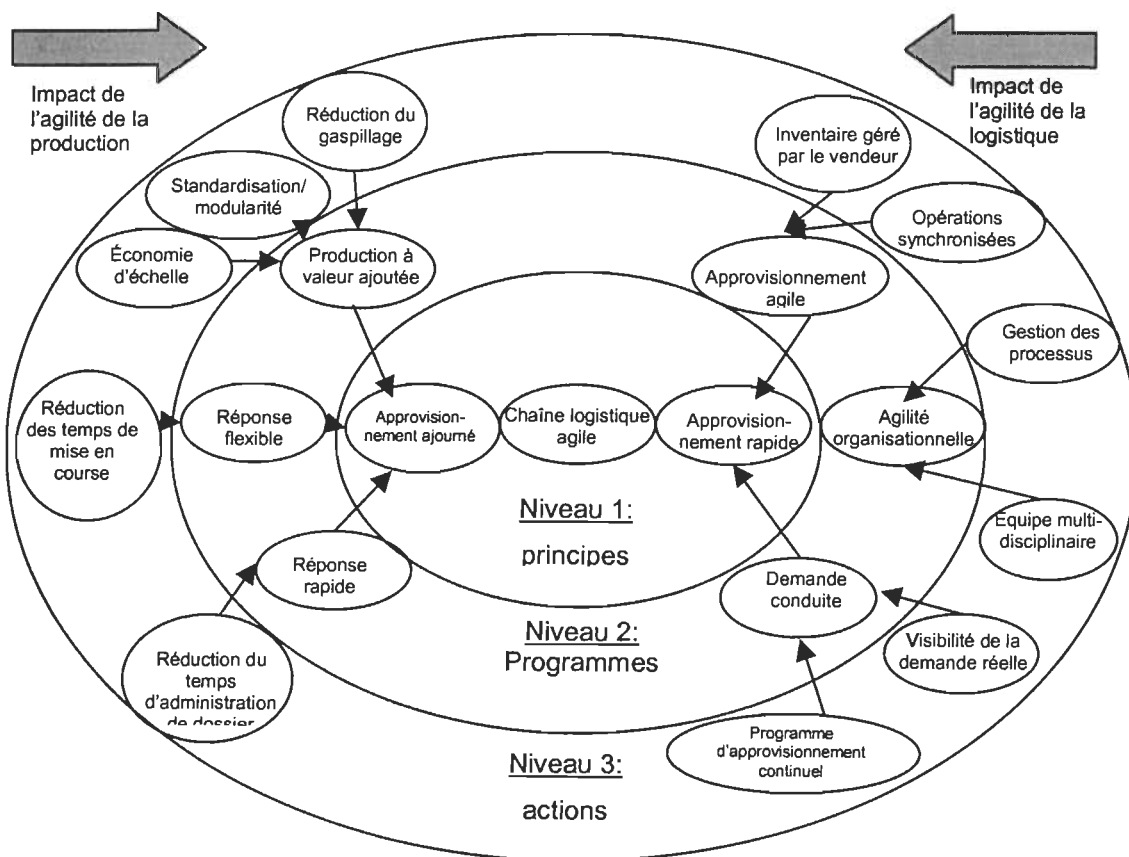


Figure 2. Modèle intégré d'une chaîne logistique agile (Christopher et Towill, 2001)

2.6 La PME

En Amérique du Nord, la PME occupe une place non-négligeable. Aux États-Unis, on estime à plus de 330 000 le nombre de PME manufacturières et elles consistent en 98% des usines, employant ainsi le 2/3 de la main-d'œuvre.

Toujours aux États-Unis, on définit la PME comme étant une entreprise de moins de 500 employés (National Research Council 2000).

Tremblay (1999) définit plutôt la PME manufacturière comme étant une entreprise de moins de 200 employés dont l'activité est la fabrication. En 1996, 9453 PME manufacturières étaient établies au Québec (89,2% des établissements du Québec) et elles employaient, en 1996, 46,1% (160 783 sur 348 472) du personnel de production (Tremblay, 1999).

La PME peut se vanter d'avoir certaines capacités dont les grandes entreprises ne peuvent bénéficier tels que l'agilité à répondre aux changements, l'efficacité accrue due à une bureaucratie moindre, le comportement d'initiateur et d'entrepreneur de la main-d'œuvre, l'accès à des propriétés technologiques spécialisées, des temps de mise en marché plus courts, un coût de la main-d'œuvre plus bas et des contrats moins restrictifs avec celle-ci, une focalisation sur le client et un service à la clientèle facilité (National Research Council 2000).

2.7 La PME dans la chaîne logistique agile

Dans les années 2000, il faudra s'attendre à une compétitivité se définissant non seulement par la compétitivité entre entreprises, mais aussi, et surtout, entre les chaînes d'approvisionnement. Le succès d'une entreprise dépendra donc des habiletés qu'elle possèdera à intégrer le réseau duquel elle fait partie (Lambert 2001). Pour la PME, cette intégration est des plus importante pour garder une place dans le réseau lui permettant ainsi de profiter de la place compétitive du réseau.

Le réseautage a donc pour but d'améliorer la compétitivité non seulement de la grande entreprise, mais de toutes les entreprises de son réseau.

Pour ce faire, il importe de comprendre ce qu'est l'intégration logistique. En fait, elle consiste en la reconnaissance des interdépendances entre les différentes

composantes de la chaîne logistique et ensuite à mettre en place les mécanismes permettant la fluidité physique et informationnelle, la précision des informations et la mise en opération des décisions (Gélinas et Bigras 2000).

De plus, cette nouvelle tendance apporte un intérêt grandissant pour la sous-traitance incluant ainsi les fournisseurs comme partenaires stratégiques. Les fournisseurs étant souvent des PME, elles devront voir à s'introduire dans des chaînes logistiques. D'autre part, la PME devra fournir une prestation de biens et de services compétitifs, flexibles, synchronisés et à moindre coût pour intégrer efficacement la chaîne logistique et ainsi demeurer compétitive.

Cependant, pour s'intégrer à ces chaînes logistiques, les PME doivent s'adapter en éliminant ou en détournant les contraintes, en obtenant la capacité de satisfaire les besoins insatisfaits et en utilisant les ressources d'une manière efficace et rapide (National Research Council 2000). La PME doit aussi remplir certaines exigences pour pouvoir s'intégrer dans une chaîne logistique.

Elle devra :

- Offrir des prix compétitifs
- Fournir des produits de qualité
- Donner un service de qualité
- Livrer dans des délais rapides
- Se doter de technologies de pointe
- S'entourer de partenaires stratégiques
- Gérer l'information et ses compétences efficacement (National Research Council 2000).

D'un autre point de vue, Bélanger (1999) souligne que pour la petite entreprise, le réseau permet de conserver ses principaux atouts telles que la souplesse individuelle et sa capacité d'innovation tout en lui donnant une plus grande marge de manœuvre.

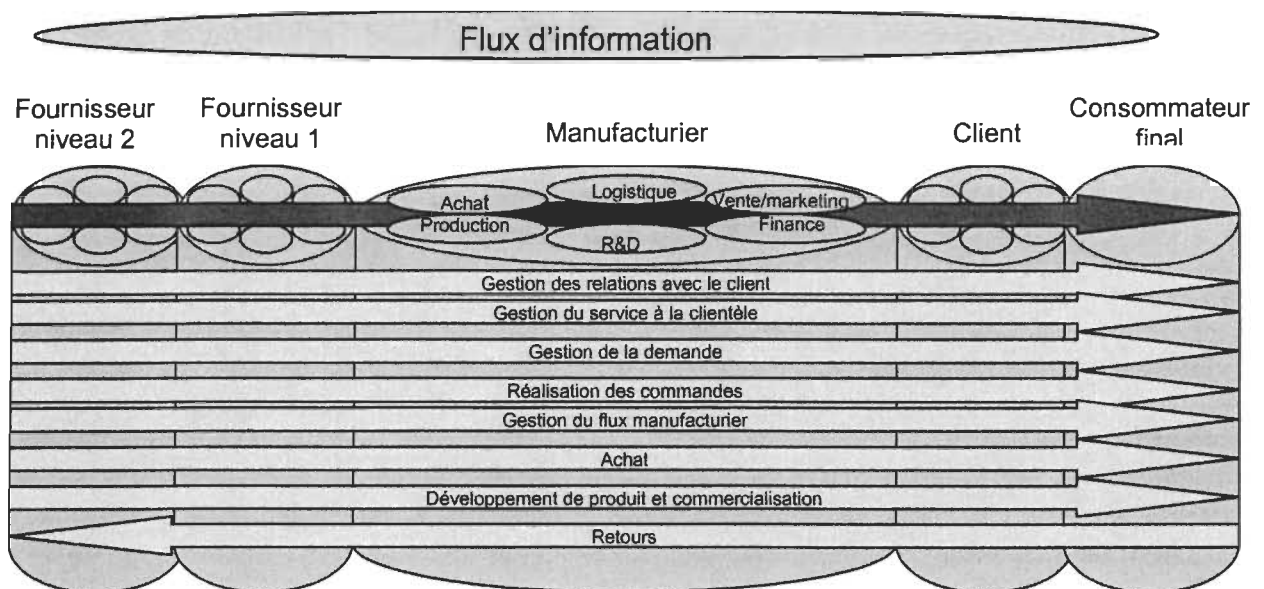
En dernier lieu, il importe de faire allusion à l'intégration de la PME non seulement à la chaîne logistique, mais à la chaîne logistique « agile ». En effet, comme mentionné antérieurement, une chaîne logistique agile comprend l'intégration des entreprises au réseau (Van Hoek et al. 2001). La PME devra donc être gérée efficacement dans un environnement imprévisible et en continuel changement.

CHAPITRE 3

MODÈLES CONCEPTUELS

3.1 Modèle de Lambert

Lambert et al. propose une illustration de la chaîne logistique telle que présentée à la figure 3 (Lambert, 2001). Cette illustration se veut une structure simple de la chaîne logistique incluant le flux d'information et de produits. On peut aussi y voir les processus clés d'affaires pénétrant les silos fonctionnels à l'intérieur de la compagnie et à travers la chaîne logistique.



Source: Douglas M.Lambert,, Martha C.Cooper et Janus D.Pagh, « Supply Chain Management: implementation Issues and research opportunities .» The international Journal of Logistics Management, Vol. 9, No. 2 (1998), p.2.

Figure 3. Représentation de la chaîne logistique selon Lambert et al. (1998)

Par la suite, Lambert propose un modèle conceptuel mettant l'accent sur la nature inter reliée de la chaîne logistique. Ce modèle consiste en trois éléments inter reliés :

- La structure du réseau : firmes membres et liens entre les firmes
- Les processus d'affaires : activités qui produisent un extrant de valeur pour le client
- Les composantes de la gestion de la chaîne logistique : variables de management par lesquels les processus d'affaires sont intégrés et gérés à travers la chaîne logistique.

Ce modèle est illustré à la figure 4.

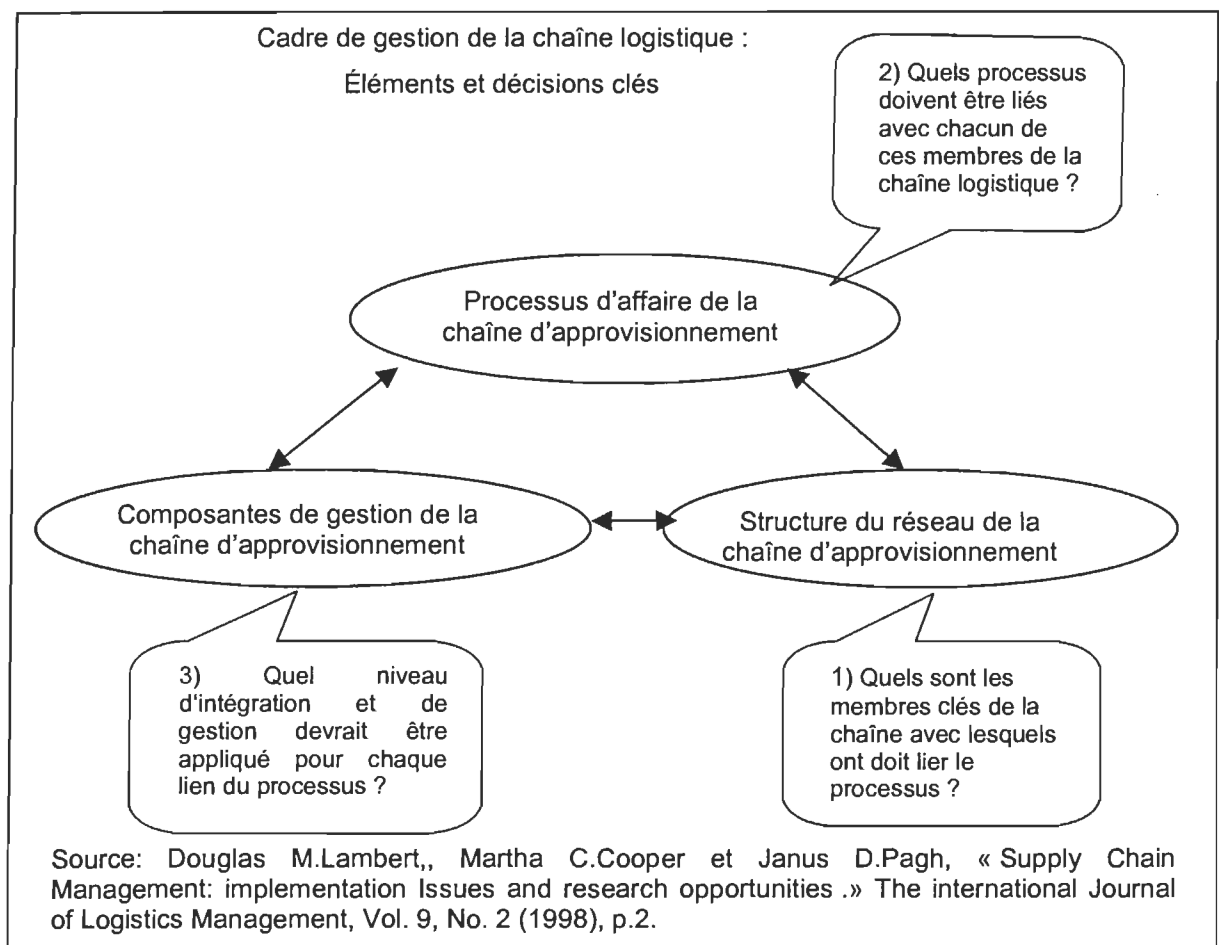


Figure 4. Modèle conceptuel de Lambert et al. (1998)

3.2 Étude de Cavinato

Récemment, en mai 2002, Joseph L. Cavinato présentait une étude, échelonnée sur deux ans, effectuée avec 63 entreprises en Amérique du Nord, en Europe et en Asie. Il rapporte 16 types de chaînes logistiques allant de l'absence de chaîne logistique aux formes les plus sophistiquées. La classification de ces différents modèles s'est effectuée sur deux axes : la complexité et l'impact sur l'entreprise (du traditionnel au plus compétitif et profitable). La figure 5 présente cette classification. Il conclut en soulignant que certains types de chaînes, les modèles 11 à 16, peuvent apporter des avantages financiers et compétitifs plus élevés.

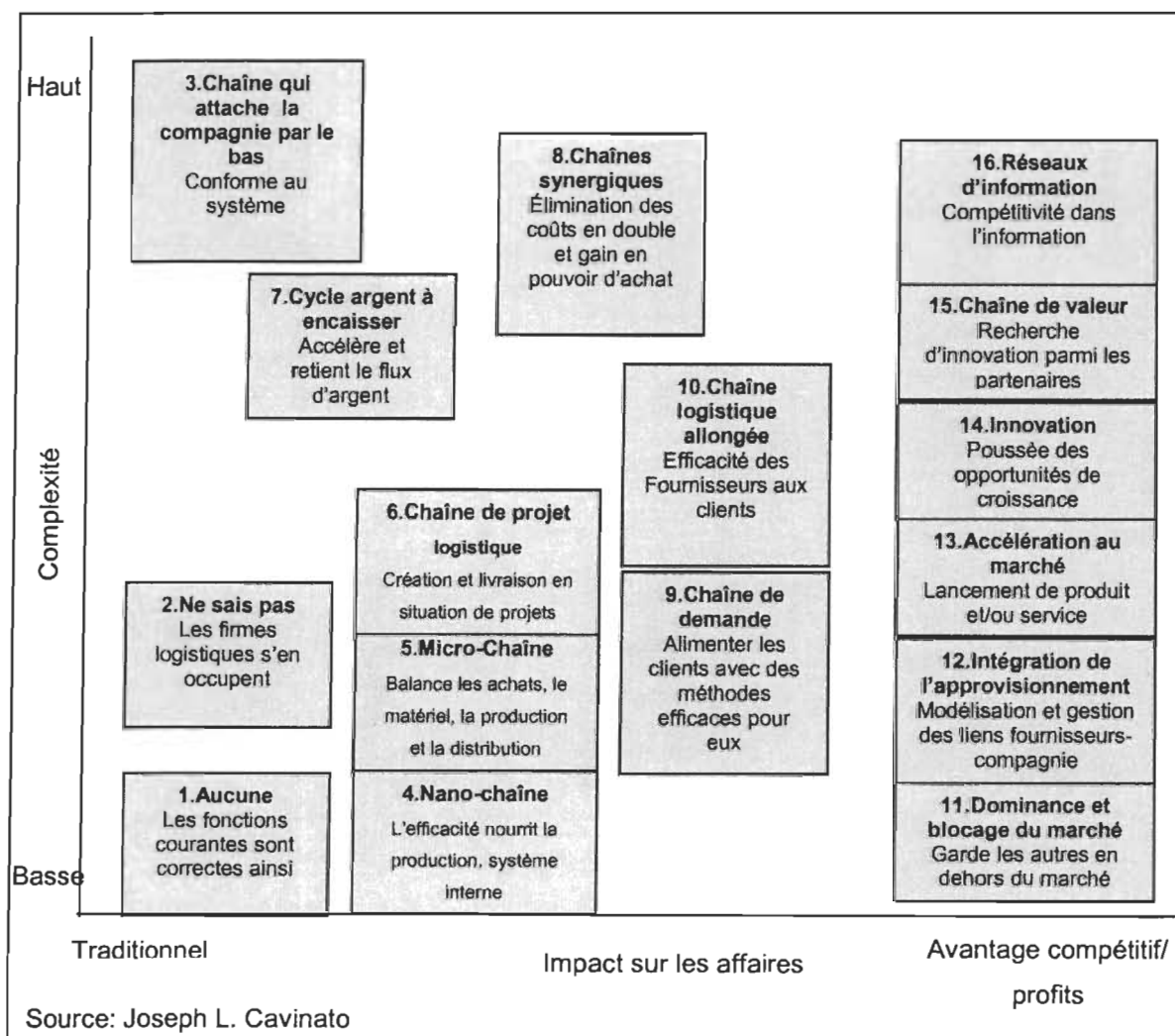


Figure 5. Types de chaînes logistiques selon Joseph L. Cavinato

3.3 Modèle à quatre dimensions de Poirier & Reiter

De leur côté, Poirier et Reiter utilisent un modèle à quatre dimensions pour expliquer comment un système global en réseau peut être construit et optimisé. Le modèle est présenté à la figure 6 et il inclut les fournisseurs, les fabricants, les distributeurs et les détaillants. Un point à souligner est que l'information qui y circule provient des points de vente qui enregistrent des achats réels, des prévisions et des informations sur les promotions.

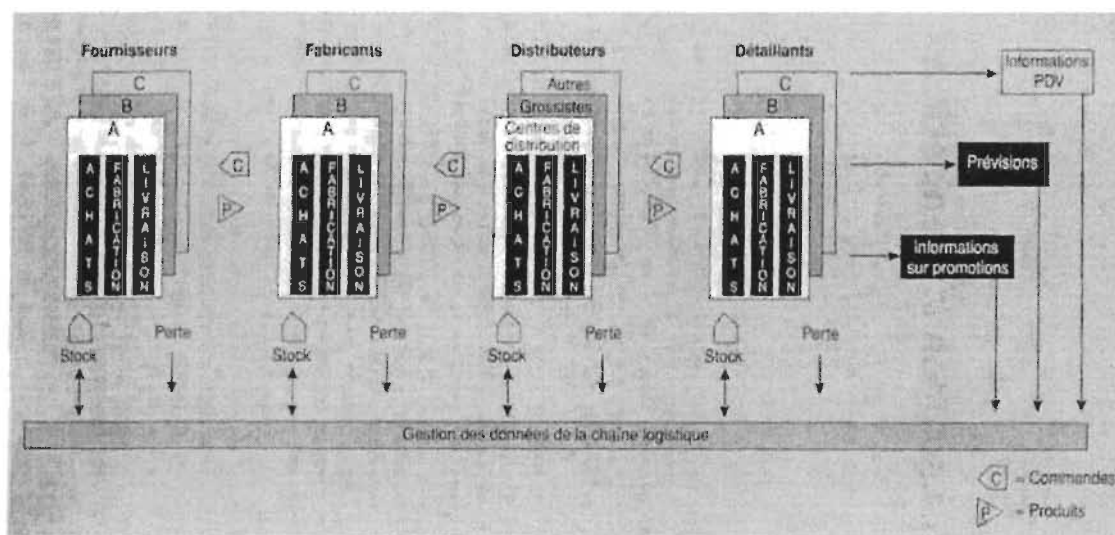


Figure 6. Modèle de la chaîne logistique selon Poirier & Reiter

3.4 Modèle de Mentzer et al.

Mentzer et al.(2001), de leur côté, définissent un modèle de gestion de la chaîne logistique tel qu'illustré à la figure 7. Ce modèle illustre les points suivants :

- Flux logistiques liés aux produits, services, information, ressources financières, demandes et prévisions.
- Coordination inter fonctionnelle permettant de gérer et de piloter les flux d'un fournisseur à un autre jusqu'au client.
- Coordination interentreprises permettant d'effectuer des transferts fonctionnels dans la chaîne logistique.
- Relation avec les clients : satisfaction du client, création de la valeur, rentabilité, avantage concurrentiel.

- Importance de l'environnement général pour déterminer comment les phénomènes varient.

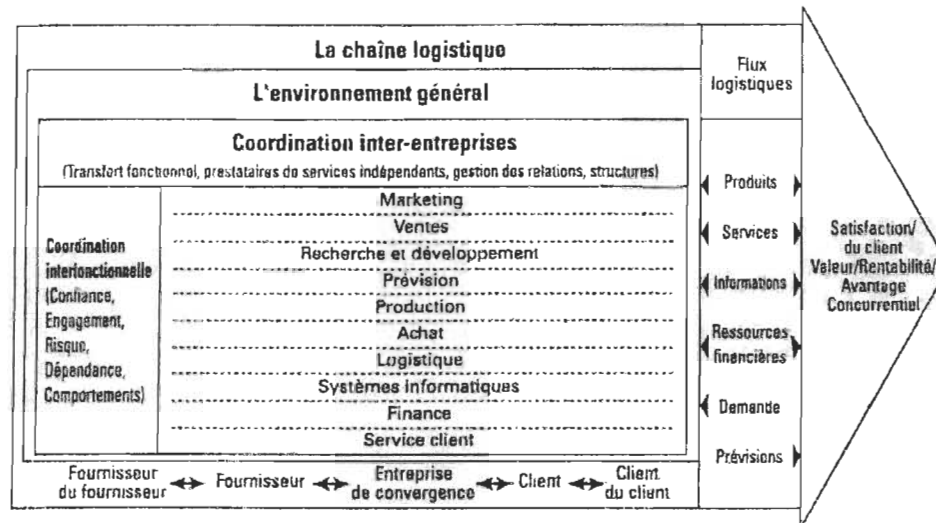


Figure 7. Modèle de la chaîne logistique selon Mentzer et al.

3.5 Conclusions

À ce stade de la revue de littérature, il importe de rappeler la place de cette recherche dans les modèles vus précédemment. D'abord, la recherche portera sur l'optimisation des flux de matières entre les fournisseurs et le donneur d'ordres. Par exemple, dans le modèle de Lambert, le travail s'effectuera dans la gestion du flux manufacturier. Dans le modèle de Poirier et Reiter, l'étude actuelle se trouve entre les fournisseurs et les fabricants, au niveau des commandes et produits et de l'influence sur les stocks. Dans le modèle de Mentzer et al., le travail se situe plutôt dans le cadre de la coordination interentreprises. Afin d'optimiser ces parties de la chaîne logistique, il importera donc de modéliser l'étape de production chez le fournisseur avec la distribution et la production du donneur d'ordres.

CHAPITRE 4

MODÈLES DE SYSTÈMES DE PRODUCTION-DISTRIBUTION

Comme mentionné plus tôt, le but de cette recherche est d'étudier les délais, inventaires et coûts du système de production-distribution reliant les fournisseurs de niveau 1 au donneur d'ordres. Pour ce faire, une modélisation mathématique du système sera établie. Entre autres, le système modélisé consistera en la production des fournisseurs (ou producteurs) synchronisée avec une tournée des véhicules pour livrer au donneur d'ordres. Le système à étudier sera détaillé au chapitre 5.

Pour débiter, une explication sommaire des problèmes de type tournée de véhicules sera faite. Ensuite, une explication détaillée des modèles de production-distribution sera donnée pour poursuivre avec les techniques de résolution pouvant être utilisées pour ces modèles. Finalement, un résumé des coûts, variables et contraintes sera fourni pour aider à la conception du modèle.

4.1 Tournée de véhicules (ou « vehicle routing »)

La littérature sur les tournées de véhicules concerne surtout la distribution de biens ou de services par un seul fournisseur ou un centre de distribution vers plusieurs clients. Par contre, la cueillette de biens chez différents fournisseurs pour revenir au point de départ s'illustre et se résout bien avec les mêmes techniques, même si elle est rarement détaillée dans la littérature.

Dans leur volume, Toth et Vigo (2001) donnent un aperçu des techniques utilisées pour les types de problèmes les plus répandus. En voici un aperçu :

- Tournée des véhicules avec contraintes de capacité et/ou distances
- Tournée des véhicules avec fenêtres de temps

- Tournée des véhicules avec retours
- Tournée des véhicules avec collectes et livraisons

Les objectifs des problèmes de tournée de véhicules sont souvent les suivants :

- Baisse du coût global de transport
- Baisse du nombre de véhicules
- Équilibrage des routes, du temps de transport et des charges
- Baisse des pénalités
- Combinaison de ces objectifs

Ils soulignent, entre autres, les données à posséder sur les clients ainsi que sur les véhicules pour résoudre ce type de problème.

Clients :

- Leur emplacement
- La quantité qu'ils demandent
- Pour quand la quantité est requise (s'il y a lieu)
- Le temps requis pour se rendre chez chaque client
- Les véhicules pouvant être utilisés pour chaque client
- Les pénalités si le service est partiel

Véhicules :

- Emplacement de l'entrepôt principal (ou point de commande) qui correspond au point de départ et d'arrivée
- Capacité des véhicules (poids, volume, nombre de palettes, etc.)
- Type de contenants
- Périodes du jour auxquelles ils peuvent opérer (s'il y a lieu)
- Dispositifs disponibles pour charger-décharger et temps nécessaire
- Graphique des routes
- Coûts (distances- temps-routes)

4.2 Système de production-distribution

Afin de bien cerner la documentation disponible sur les systèmes de production-distribution, trois articles de revue ont été analysés afin de choisir les modèles appropriés.

4.2.1 Revues de littérature

4.2.1.1 Sarmiento et Nagi

D'abord, Sarmiento et Nagi(1999) classifient les modèles de production-distribution en fonction du type de décision à prendre et du nombre de localisations par échelon. Ils les différencient aussi selon que le mode de transport est régulier ou accéléré. Le tableau I donne les catégories qui seront utiles pour la recherche actuelle et les auteurs cités par Sarmiento et Nagi pour ces catégories.

Tableau I
Catégories et auteurs selon Sarmiento & Nagi (2001)

Catégorie	Production-inventaire-distribution-inventaire	Inventaire-tournée des véhicules	Distribution-inventaire
Auteurs	<ul style="list-style-type: none"> • Haq et al. (1991) • Chandra & Fisher (1994) • Benjamin(1989) • Blumenfeld et al.(1985) • Chien(1993) • Ishii et al.(1988) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bell et al.(1983) • Golden et al.(1984) • Trudeau et Dror(1992) • Dror et Ball(1987) • Dror et Levy(1986) • Chien et al.(1989) • Larson(1988) • Dror(1983) • Dror et al.(1986) • Assad et al.(1982) • Ball(1988) 	<ul style="list-style-type: none"> • Federgruen et Zipkin (1984) • Federgruen et al.(1986) • Burns et al.(1985) • Anily et Federgruen(1990) • Viswanathan et Mathur(1997) • Speranza et Ukovich (1994) • Blumenfeld et al.(1985) • Yano et Gerchak(1989)

4.2.1.2 Thomas et Griffin

De leur côté, Thomas et Griffin (1996) recensent les articles selon le stade auquel ils appartiennent dans la chaîne. Ils viseront alors de répertorier la taille des lots, le choix du mode de transport et le choix de la quantité à produire pour chaque article. Deux catégories de leur recension sont pertinentes pour la recherche actuelle. Les deux catégories choisies et les auteurs reliés sont disponibles au tableau II.

Tableau II

Catégories et auteurs selon Thomas et Griffin(1996)

Catégorie	Coordination production-distribution	Coordination inventaire- distribution
Auteurs	<ul style="list-style-type: none"> • Williams (1981) • Ishii, Takahashi & Muramatsu (1988) • Haq, Vrat & Kanda (1991) • Pyke & Cohen (1993, 1994) • Chien (1993) • Chandra & Fisher (1994) 	<ul style="list-style-type: none"> • Clark & Scarf (1960) • Muckanstadt & Thomas (1980) • Erkip, Haussman & Nahmias (1990) • Svornos & Zipkin • Rogers & Tsubakitani (1991) • Ernst & Pyke (1993) • Muckstadt & Roundy (1993) • Van Eijs (1994)

4.2.1.3 Bhatnagar, Chandra et Goyal

Finalement, Bhatnagar, Chandra et Goyal (1993) classifient et répertorient les différents écrits selon les tentatives de coordination des différentes opérations des entreprises. Le tableau III donne la classification et les auteurs pour les deux catégories concernées et répertoriées par ces auteurs.

Tableau III :

Catégories et auteurs selon Bhatnagar, Chandra et Goyal(1993)

Catégorie	Planification de la production et de la distribution	Planification de l'inventaire et de la distribution
Auteurs	<ul style="list-style-type: none"> • King et Love (1980) • Williams (1981) • Blumenfeld et al. (1987) • Ishii, Takahashi et Muramatsu (1988) • Chandra et Fisher (1992) 	<ul style="list-style-type: none"> • Federgruen et Zipkin (1984) • Burns et al. 91985) • Dror et Ball (1987) • Chandra (1990) • Anily et Federgruen (1990)

4.2.2 Articles choisis

Dans la recherche actuelle, les deux catégories de modèles choisis se nomment « production-inventaire-distribution » et « distribution-inventaire ». D'après Sarmiento et Naji, il y a une différence significative entre ces deux types de modèles. D'après eux, la différence se trouve au niveau de la formulation de la fonction objective en ce sens que les problèmes reliés au système de production-distribution incluent la minimisation des coûts du détaillant tandis que les modèles inventaire-tournée des véhicules servent souvent à minimiser les coûts d'opération du centre de distribution.

Suite à une analyse des articles pertinents à chacune des catégories, les articles à examiner en détail s'avèrent être ceux pouvant être les plus utiles à la recherche actuelle. Les tableaux IV et V montrent, pour chacune des deux catégories, les articles choisis ainsi que les raisons motivant ces choix.

Tableau IV

Articles choisis pour l'étude du système production-inventaire-distribution

Article	Raisons
Blumenfeld et al.(1985) Dans Sarmiento et Nagi	Considèrent plusieurs entités par échelon Présentent une approche intéressante pour étudier des réseaux complexes
Benjamin (1989) Dans Sarminento & Nagi	Compare une optimisation simultanée et séparée Considère plusieurs entités par échelon
Haq et al. (1991) Dans Sarmiento & Nagi et Tomas & Griffin	Répertorié par deux revues de littérature Considèrent trois échelons Ajoutent le coût du recyclage
Chandra et Fisher (1994) dans Sarmiento et Nagi	Seul article qui combine la planification de la production et la tournée des véhicules Est répertorié par les trois revues de littérature

Tableau V

Articles choisis pour l'étude du système distribution-inventaire

Article	Raisons
Federgruen et Zipkin (1984) Dans Sarmiento & Nagi et Bhatnagar et al.	Combinent la tournée des véhicules et l'allocation d'inventaire Répertorié par deux revues de littérature
Chien et al. (1989) Dans Sarmiento et Nagi	Ajoutent les pénalités pour les commandes incomplètes Font varier les structures de coût
Vaidyabathan et al.(1999)	Inclut le concept de juste-à-temps N'a pas été répertorié par les revues de littérature car inclut seulement la tournée des véhicules L'article est récent

Les modèles choisis ont été examinés en détail afin de percevoir les différents aspects importants de ceux-ci. Seuls les aspects qui serviront à établir le modèle ont été sélectionnés et détaillés. Les tableaux VI et VII donnent les détails des aspects étudiés pour les modèles choisis. Deux de ces articles ont fait état d'une étude plus détaillée.

Tableau VI

Modèles pour un système de production-distribution

Auteur(s)	Blumenfeld et al.	Benjamin	Haq et al.	Chandra & Fisher
Fonction objective	Minimiser les coûts de production, inventaire, transport	Minimiser les coûts de production, inventaire, set-up, transport	Minimiser coût total : Coût de production, set-up, recyclage, distribution, inventaire, commandes en retard	Minimiser les coûts de set-up, transport et inventaire
Variables de décisions	Valeur de la pièce Demande(taux) Temps de transport Frais de transport par lien Taille du lot à envoyer Cycle total de production Production(taux)	Taille du lot de production Quantité demandée Nombre d'unités envoyées annuellement pour chaque lien	Quantité produite Variable binaire de production ou non Quantité recyclée Inventaire Quantité transportée (producteur-entrepôt, entrepôt-détaillants) Quantité en retard Demande	Quantité de produits produit Quantité de produits livrés Nb transports directs Inventaire Produits à produire pour chaque producteur
Paramètres	<u>Coûts d'inventaire :</u> • Coût d'inventaire par unité de temps <u>Coûts de mise en route :</u> • Coût de set-up par cycle	<u>Coûts de production :</u> • Coût de production unitaire par producteur • Production annuelle par producteur • Coût de maintien d'inventaire chez le producteur • Taux de production annualisé • Coût de set-up	• Coût unitaire d'inventaire • Coût de set-up • Coût de recyclage • Coût de transport unitaire • Coût unitaire des retards • Perte en production • Perte en distribution • Portion de recyclage • Temps de production • Temps de distribution • Temps de recyclage • Temps de set-up	• Nombre de périodes • Nombre de produits • Nombre de clients • Demande par produit par période • Inventaire de départ • Temps de production par unité par produit • Capacité de production • Capacité des véhicules • Coût fixe de set-up par produit

Tableau VI (suite)

Auteur(s)	Blumenfeld et al.	Benjamin	Haq et al.	Chandra & Fisher
Paramètres (suite)		<u>Coût de transport :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Coût de transport unitaire pour un lien <u>Coût d'inventaire client :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Coût de maintien d'inventaire Coût de commande	<ul style="list-style-type: none"> • Capacité de production 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'inventaire unitaire par produit par période • Coût direct des transports entre chaque emplacement • Coût fixe par véhicule par route voyagée
Contraintes	<ul style="list-style-type: none"> • Capacité des véhicules 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacité des fournisseurs pas excédée • Demande des clients satisfaite 	<ul style="list-style-type: none"> • Équilibrage d'inventaire pour la production • Quantité recyclée • Équilibrage d'inventaire pour les entrepôts • Capacité de production • Coût de set-up s'il y a lieu. 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacité de production • Un set-up par produit, par période • Équilibrage d'inventaire • Équilibrage des flux de véhicules • Capacités des véhicules et formation d'un graphe connecté
Technique(s) de résolution utilisée(s)	Arbitrage des coûts de transport, inventaire, set-up	Heuristique avec décomposition de Bender	Programmation linéaire	2 approches : <u>Séquentielle</u> : Algorithme <u>Coordination</u> : heuristique
Type de demande	Taux constant	Variable	Déterministe	Connue par période
Horizon	Infini	Infini	Fini	Fini
# origines	Une ou plusieurs	Une ou plusieurs	Une	Une
# destinations	Une ou plusieurs	Une ou plusieurs	Plusieurs	Plusieurs

Tableau VI (suite)

Auteur(s)	Blumenfeld et al.	Benjamin	Haq et al.	Chandra & Fisher
Détails	3 cas : Transport direct Transport via un terminal Combinaison des 2	Optimisation simultanée de la taille du lot, du transport et de la quantité économique Compare l'approche simultanée et séparée	Considère trois échelons	Combinaison de la planification de la production avec une tournée des véhicules
Résultats, conclusions	Routes Taille des lots à expédier	Taille du lot Quantité à livrer Quantité à commander par le client	Taille des lots de production et de distribution Niveau d'inventaire à tous les niveaux	Longueur de l'horizon Nombre de produits et de détaillants Coût de set-up, inventaire, transport
Pourquoi on ne peut l'utiliser tel qu'énoncé	Pas de système de distribution Liens directs entre chaque origine et destination, pas de tournée des véhicules	Liens directs, pas de tournée des véhicules Le coût de transport est linéaire	Ne considère pas de tournée des véhicules S'applique pour 3 échelons	Ce modèle s'apparente bien au problème à résoudre mis à part le nombre d'origines et de destinations.
Commentaires	Le terminal peut être utilisé comme dans le cas de la présence d'un intégrateur Technique facile à utiliser	Fait remarquer que l'optimisation simultanée n'est pas toujours la meilleure, dépend de la valeur des paramètres	L'application de ce modèle est limitée car les coûts de transport sont considérés linéaires	Réduction de 3 à 20% pour la planification coordonnée de la production avec la distribution

Tableau VII

Modèles pour un système de tournée des véhicules-inventaire

Auteur(s)	Federgruen & Zipkin	Chien et al.	Vaidyabathan et al.
Fonction objective	Minimiser le coût de transport pour chaque transport direct et coût d'inventaire	Maximiser les profits : Revenus moins coûts de transport et pénalité pour commandes incomplètes	Minimiser le temps total de transport pour tous les véhicules
Variables de décisions	Si la localisation est sur la route effectuée Si le véhicule voyage directement d'un emplacement à l'autre	Quantité fournie par fournisseur Variable binaire si le véhicule passe par une route Quantité de matériel pour le client transportée sur une route	Variable binaire si le véhicule est assigné à une route.
Paramètres	Nombre de véhicules Nombre d'emplacements Capacité par véhicule Coût de transport direct Distribution cumulative de la demande Coût de transport d'inventaire Coût de pénurie Inventaire initial Quantité totale de produits disponibles à l'entrepôt	Nombre d'emplacements Nombre de véhicules disponibles Capacité par véhicule Quantité disponible à l'entrepôt Demande maximale par client Revenu unitaire par client Coût de pénalité par client Coût de tournée fixe d'un emplacement à un autre Coût variable par unité d'un emplacement à un autre	Nombre d'emplacements Nombre de véhicules Temps de transport Taux des demandes Capacité du véhicule Temps de chargement/ déchargement
Contraintes	Capacité du véhicule Quantité livrée est disponible Chaque emplacement est assigné à une seule route Définition du problème de commis voyageur	Pas de stock livré en trop Quantité livrée versus quantité disponible Conservation des flux Inventaire disponible Capacité des véhicules Chaque véhicule visite chaque client au plus une fois et doit retourner à l'entrepôt Redondance	Équilibrage des flux pour les clients Équilibrage des flux pour l'entrepôt principal Continuité du trajet Fonction non-linéaire du temps de transport et de la demande Un contenant par client La route doit faire partie de l'ensemble des routes disponibles

Tableau VII (suite)

Auteur(s)	Federgruen & Zipkin	Chien et al.	Vaidyabathan et al.
Technique(s) de résolution utilisée(s)	Heuristique basé sur la décomposition en un sous-problèmes non-linéaire et de commis voyageurs	Procédure basée sur Lagrange	Heuristique Relaxation avec bornes inférieures
Résultats, conclusions	Horaire des véhicules Taille des lots	Tournée des véhicules Allocation de l'inventaire	Quantité livrée Meilleure route à utiliser
Type de demande	Aléatoire	Déterministe	Fonction de la route prise par le véhicule
Horizon	Fini	Infini	Infini
# origines	Une	Une	Une
# destinations	Plusieurs	Plusieurs	Plusieurs
Détails	Considère que le coût d'inventaire n'est pas linéaire	Varie les revenus, structures de coût, disponibilité des véhicules et capacité des véhicules pour voir leurs effets	En juste-à-temps La quantité livrée est fonction de la route prise par le véhicule assigné à ce nœud La quantité livrée par voyage est juste assez pour remplir la demande de la durée du voyage.
Pourquoi on ne peut l'utiliser tel qu'énoncé	Ne considère pas la production	Ne considère pas la production	Véhicules et leurs capacités identiques N'implique pas la production Un seul type de pièces par client

4.2.3 Modèle de Chandra et Fisher

Parmi les modèles énumérés plus haut, celui de Chandra et Fisher (1994) est un de ceux qui correspond le mieux au modèle voulant être établi dans le cadre du projet actuel. Afin de permettre une meilleure compréhension et de mieux établir le modèle voulu, une description détaillée des paramètres, variables, fonction objective et contraintes a été élaborée.

Comme mentionné dans le tableau VI, Chandra et Fisher étudient la coordination de la production et de la distribution. Le problème étudié plus particulièrement par ces auteurs est celui d'un producteur produisant plusieurs produits et maintenant des produits finis en inventaire chez lui. Les produits sont ensuite acheminés vers un nombre de détaillants pour lesquels la demande est connue par période. Les auteurs comparent deux approches : l'optimisation séquentielle et coordonnée. Parmi tous les auteurs recensés, ce sont les seuls considérant une tournée de véhicules comme système de distribution en combinaison avec la production.

Leur modèle inclut les paramètres inscrits au tableau VIII.

Tableau VIII:
Paramètres du modèle de Chandra et Fisher (1994)

Codification	Signification
T	Nombre de périodes
m	Nombre de produits
n	Nombre de clients de 1 à n , 0 étant le producteur
d_{jkt}	Demande pour le produit j à l'emplacement k à la période t
I_{jk0}	Inventaire de départ du produit j à l'emplacement k
p_j	Temps de production unitaire du produit j
B	Temps de production disponible dans n'importe quelle période
C	Capacité de chaque véhicule
s_j	Coût fixe impliqué pour faire le set-up pour le produit j
h_{jk}	Coût de maintien d'inventaire par unité pour le produit j par période pour l'emplacement k
c_{lk}	Coût de transport direct entre l'emplacement l et k
v_t	Coût fixe par véhicule par route voyagée à la période t

Par la suite, les variables utilisées sont décrites dans le tableau IX.

Tableau IX :

Variables du modèle de Chandra et Fisher (1994)

Codification	Signification
x_{jt}	Quantité de produit j produit à la période t
y_{jt}	1 si le producteur fait un set-up pour le produit j à la période t 0 Sinon
q_{jkt}	Quantité de produit j livré à l'emplacement k à la période t
r_{lkt}	Nombre de transports directs de l'emplacement l à k à la période t
I_{jkt}	Inventaire du produit j à l'emplacement k à la période t

Ils formulent la fonction objective et les contraintes telles que présentées à la figure 8.

$$\begin{aligned}
 MIN Z = & \left[\sum_{tj} s_j y_{jt} + \sum_{tjk} h_{jk} I_{jkt} + \sum_{tlk} c_{lk} n_{lkt} + \sum_{lt} v_l n_{0l} \right] \\
 & \sum_j p_j x_{jt} \leq B \quad \forall t=1, \dots, T \quad (1) \\
 & x_{jt} \leq M y_{jt} \text{ pour tout } j, t \quad (2) \\
 & I_{j0t} = I_{j0t-1} + x_{jt} - \sum_{k=1}^n q_{jkt} \text{ pour tout } j, t \quad (3) \\
 & I_{jkt} = I_{jkt-1} + q_{jkt} - d_{jkt} - \sum_{k=1}^n q_{jkt} \text{ pour tout } j, t; k=1, \dots, n \quad (4) \\
 & \sum_{l \neq k}^n n_{lkt} = \sum_{l=0}^n n_{lkt} \quad k=0, \dots, n; t=1, \dots, T \quad (5) \\
 & \sum_{l \in S} \sum_{k \in S} n_{lkt} \geq \sum_j \sum_{k \in S} q_{jkt} / C \text{ pour tout } S \subseteq \{1, \dots, n\}, t=1, \dots, T \quad (6) \\
 & y_{jt} \in \{0, 1\}, \quad x_{jt} \geq 0 \text{ pour tout } jt \quad (7a) \\
 & q_{jkt} \geq 0, \quad I_{jkt} \geq 0 \text{ pour tout } jkt \quad (7b) \\
 & n_{lkt} \geq 0 \text{ et entier pour tout } lkt \quad (7c)
 \end{aligned}$$

Figure 8. Fonction objective et contraintes du modèle de Chandra et Fisher

La fonction objective étant de minimiser les coûts totaux, elle comprend 4 parties :

- Coût de set-up
- Coût d'inventaire
- Coût de transport entre les emplacements
- Coût de retour au point de départ

Les contraintes, de leur côté, consistent à :

1. Capacité de production pour chaque période
2. Un set-up pour chaque produit qui sera fabriqué dans la période
3. Équilibrage de l'inventaire chez le producteur
4. Équilibrage de l'inventaire chez le client
5. Conservation des flux
6. Assurance que les arcs du voyage d'un véhicule forment un graphe connecté
7. Contraintes pour variables binaires et non-négativité

Par la suite, Chandra et Fisher ont comparé les approches séquentielles et simultanées pour optimiser le système. Ils obtinrent que l'optimisation simultanée est de 3 à 20% plus rentable que l'approche séquentielle. Par ailleurs, l'optimisation simultanée est moins efficace dans les situations suivantes :

- La capacité de production augmente
- La longueur de l'horizon de planification augmente
- Le nombre de produits et de clients augmentent
- Les coûts de distribution augmentent
- Les coûts fixes par véhicule par route augmentent
- Les coûts de transport directs entre deux emplacements augmentent
- Les coûts de set-up diminuent
- Les coûts d'inventaire diminuent
- La capacité des véhicules augmente

- Le ratio coût fixe par véhicule par route sur le coût de transport direct entre deux emplacements augmente

Les auteurs concluent en soulignant que sous certaines conditions, l'optimisation simultanée de la production et de la distribution peut s'avérer très rentable.

4.2.4 Modèle de Haq et al.

L'article de Haq et al. (1991) est approprié afin de voir la modélisation de la coordination entre la production et la distribution.

En effet, Haq et al. présentent l'application d'un modèle intégrant la production, l'inventaire et la distribution. Ils formulent le problème en programmation en nombres entiers pour minimiser le coût total du système en considérant simultanément le lot de production, le lot de distribution et les décisions d'inventaire associées aux différents niveaux pour un horizon de planification défini. Le modèle présenté ici se différencie des autres par le fait qu'il comprend trois échelons incluant des étapes de production, plusieurs entrepôts puis plusieurs détaillants et qu'il considère les coûts de recyclage. Par contre, plusieurs hypothèses ont été formulées, limitant ainsi les cas où le modèle peut être appliqué. La liste des hypothèses est donnée au tableau X.

Tableau X

Liste des hypothèses pour le modèle de Haq et al.

#	Hypothèse
A	La demande pour le produit est déterministe et connue
B	La demande arrive seulement chez le détaillant à la fin d'une période
C	Le temps de cycle est déterministe et en nombres entiers
D	Les pertes en production et distribution sont considérées comme un pourcentage fixe de la quantité produite et de la quantité distribuée
E	Seulement une fraction des pertes de production est recyclée

Tableau X (suite)

#	Hypothèse
F	Aucun produit défectueux n'est produit pendant les réparations
G	Les dommages causés pendant le transport ne sont pas réparés et sont considérés comme des pertes
H	L'inventaire initial est permis seulement chez le détaillant tandis qu'il est de zéro à la production et aux entrepôts
I	Les commandes en retard sont permises chez les détaillants

Par la suite, les auteurs déterminent les variables et paramètres tels que décrits au tableau XI.

Tableau XI
Variables et paramètres du modèle de Haq et al.

Notation	Signification
S	Nombre d'étapes de production
W	Nombre d'entrepôts
R	Nombre de détaillants
T	Nombre de périodes
X_{st}	Quantité produite à l'étape s dans la période t
C_{st}	Coût unitaire de production à l'étape s dans la période t
F_{st}	Coût fixe ou de set-up à l'étape s dans la période t
δ_{st}	Variable binaire, 0 quand il n'y a pas de production à l'étape s dans la période t 1 quand il y a de la production à l'étape s dans la période t
X_{st}^L	Quantité recyclée à l'étape s dans la période t
C_{st}^L	Coût de recyclage à l'étape s dans la période t
I_{st}	Inventaire à l'étape s dans la période t
h_{st}	Coût d'inventaire à l'étape s dans la période t
A_{wt}	Quantité transportée de l'usine vers l'entrepôt w dans la période t
C_{wt}	Coût unitaire de transport de l'usine à l'entrepôt w dans la période t
J_{wt}	Inventaire à l'entrepôt w dans la période t
h_{wt}	Coût d'inventaire à l'entrepôt w dans la période t
B_{wrt}	Quantité transportée de l'entrepôt w au détaillant r dans la période t
C_{wrt}	Coût unitaire de transport de l'entrepôt w au détaillant r à la période t
K_{rt}	Inventaire chez le détaillant r à la période t
h_{rt}	Coût d'inventaire chez le détaillant r à la période t
\overline{K}_{rt}	Quantité en retard chez le détaillant r à la période t

Tableau XI (suite)

Notation	Signification
\bar{h}_{rt}	Coût de commande en retard pour le détaillant r à la période t
PL	Paramètre de la perte de production en % de défectueux par période
DL	Paramètre de pertes en distribution en % de pertes en transport entre l'usine et les entrepôts ou les entrepôts et les détaillants
α	Paramètre de recyclage comme fraction de produits défectueux qui sont recyclés à toutes les étapes de production
D_{rt}	Demande chez le détaillant r à la période t
L_s	Temps de cycle à l'étape de production s
L_w	Temps de cycle de la distribution de l'usine à l'entrepôt w
L_{wr}	Temps de cycle de la distribution entre l'entrepôt w et le détaillant r
L_s^L	Temps de cycle du recyclage à l'étape s
t_{st}	Temps de production unitaire à l'étape s dans la période t
s_{st}	Temps de set-up à l'étape s à la période t
P_{st}	Capacité de production à l'étape s à la période t
M	Nombre très grand

La fonction objective et les contraintes sont présentées à la figure 9.

$$\begin{aligned}
 MIN \quad z = & \sum \sum (X_{st} C_{st} + F_{st} \delta_{st} + X_{st}^L C_{st}^L) + \sum \sum I_{st} h_{st} + \sum \sum A_{wt} C_{wt} \\
 & + \sum \sum J_{wt} h_{wt} + \sum \sum \sum B_{wrt} C_{wrt} + \sum \sum K_{rt} h_{rt} + \sum \sum \bar{K}_{rt} \bar{h}_{rt} \\
 I_{st} = & I_{s(t-1)} + (1-PL) X_{s(t-L_s)} + X_{s(t-L_s^L)}^L - X_{(s+1)t}, \text{ pour } s=1, \dots, S-1, t=1, \dots, T \quad (1) \\
 I_{St} = & I_{S(t-1)} + (1-PL) X_{S(t-L_s)} + X_{S(t-L_s^L)}^L - \sum_{w=1}^W A_{wt}, \text{ pour } t=1, \dots, T \quad (2) \\
 X_{st}^L = & \alpha PL X_{s(t-L_s)}, \text{ pour } s=1, \dots, S-1, t=0, \dots, T-1 \quad (3) \\
 J_{wt} = & I_{ws(t-1)} + (1-DL) A_{w(t-L_w)} - \sum_{r=1}^R B_{wrt}, \text{ pour } w=1, \dots, W, t=1, \dots, T \quad (4) \\
 K_{rt} = & K_{r(t-1)} + \sum_{w=1}^W (1-DL) B_{wrt(t-L_{wr})} + \bar{K}_{rt} - \bar{K}_{r(t-1)} - D_{rt}, \text{ pour } r=1, \dots, R, t=1, \dots, T \quad (5) \\
 t_{st}(X_{st} + X_{st}^L) + s_{st} \delta_{st} \leq & p_{st}, \text{ pour } s=1, \dots, S, t=0, \dots, T-1 \quad (6) \\
 X_{st} - M \delta_{st} \leq & 0, \text{ pour } s=1, \dots, S, t=0, 1, \dots, (T-1) \quad (7) \\
 X_{st}, X_{st}^L, I_{st}, A_{wt}, J_{wt}, B_{wrt}, K_{rt}, \bar{K}_{rt} \geq & 0 \\
 \delta_{st} = & 0 \text{ ou } 1
 \end{aligned}$$

Figure 9. Fonction objective et contraintes de Haq et al.

La fonction objective inclut donc :

- Coût de production
- Coût de set-up
- Coût de recyclage aux étapes de production
- Coût de la distribution de l'usine aux entrepôts et des entrepôts aux détaillants
- Coût d'inventaire aux étapes de production, aux entrepôts et chez les détaillants
- Coût des commandes en retard chez le détaillant

Les séries de contraintes sont les suivantes :

- 1 et 2 : Équilibrage d'inventaire aux étapes de production
- 3 : Dépendance entre la quantité recyclée et la perte en production et les paramètres de recyclage
- 4 et 5 : Équilibrage d'inventaire des entrepôts et des détaillants
- 6 : capacité de production
- 7 : assure que les coûts de set-up seront engagés seulement quand il y aura production

Le modèle établi par Haq et al. permet de déterminer les quantités optimales de production et de distribution ainsi que le niveau d'inventaire optimal pour les différentes étapes de production et pour les entrepôts. Ils obtiennent finalement un coût total pour le système optimal.

4.3 Techniques de résolution

Pour résoudre les modèles élaborés, plusieurs auteurs ont utilisé ou conçu différentes techniques de résolution. Les algorithmes exacts, les heuristiques et les métaheuristiques sont, entre autres, les plus utilisés. Aussi, plusieurs utilisent

les techniques de Lagrange pour déterminer les bornes inférieures ou supérieures pour voir si leur solution est près ou non de la solution optimale.

Williams (1981) compare sept heuristiques servant à optimiser des systèmes de production-distribution. Aussi, Shapiro (2001) discute de l'utilisation des modèles de programmation pouvant être utilisés pour modéliser et résoudre différents problèmes reliés à la chaîne d'approvisionnement.

Pour ce qui est de la tournée des véhicules, l'utilisation de la programmation mathématique est aussi faite, à l'occasion. Cependant, afin de résoudre rapidement des problèmes de grande taille, plusieurs algorithmes exacts, heuristiques et méta heuristiques ont été développés réduisant ainsi le temps de compilation tout en fournissant, dans plusieurs cas, des solutions se rapprochant de la solution optimale (Toth et Vigo 2001). D'ailleurs, d'après Toth et Vigo, les heuristiques et méta heuristiques utilisés jusqu'à maintenant pour établir des tournées optimales de véhicules mèneront à l'élaboration d'une nouvelle génération d'heuristiques permettant d'atteindre des résultats ayant des pourcentages d'erreur et des temps de compilation encore plus bas. La figure 10 illustre cette affirmation.

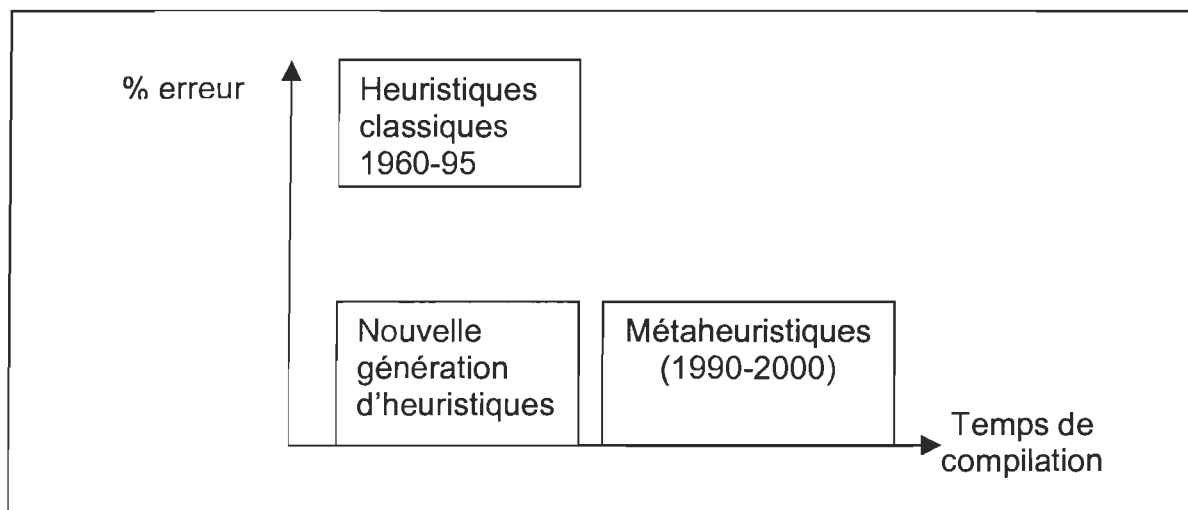


Figure 10. Performance des heuristiques et métaheuristiques de tournée des véhicules à contraintes de capacité et/ou distances

Dans le cas présent, le modèle de programmation mathématique est complexe, la résolution s'avèrera donc ardue. Par contre, les distributions des variables principales du modèle seront linéaires. Tout de même, une autre technique que la programmation linéaire, qui s'avère être fastidieuse au point de vue du temps de compilation pour des modèles complexes, sera utilisée. Dans ce cas, l'utilisation de la simulation avec distributions déterministes sera profitable.

Les deux avantages premiers de l'utilisation de la simulation sont le réalisme des résultats fournis, donc la correspondance avec la réalité, et la proximité de la solution trouvée avec la solution optimale. Il est entendu que certains heuristiques pourraient être utilisés pour arriver à des solutions encore plus près de l'optimale et utilisant peu de temps de compilation, mais ces heuristiques sont souvent bondées d'hypothèses ne correspondant pas à la réalité et n'étant donc pas réalisables, ce qui n'est pas voulu dans la recherche actuelle.

D.R.Towill (1996) souligne d'ailleurs que l'utilisation de la simulation peut permettre de prédire avec confiance les améliorations possibles sur la performance de la chaîne logistique.

La résolution du problème étudié ici se fera en deux parties : simulation des coûts pour le producteur et simulation du coût global du système de production-inventaire-distribution. Pour ce qui est des coûts du producteur (fournisseurs de niveau 1), un design expérimental(DOE) sera effectué. Ce DOE servira à établir les variables ayant le plus d'impact sur le coût de fonctionnement de ceux-ci. Pour ce qui est de la partie sur le coût global, les variables ayant un impact significatif obtenues du premier design seront utilisées et une détermination des facteurs influençant le système seront identifiés.

Afin de bien comprendre comment la simulation et le design expérimental serviront à résoudre le problème, une description de ces deux techniques est fournie dans les sections suivantes.

4.3.1 Simulation

La simulation, dans son sens large, consiste en le procédé de conception d'un système réel par un modèle mathématique logique. Elle consiste aussi à l'expérimentation de ce modèle sur informatique. Ainsi, la simulation englobe le processus de construction d'un modèle ainsi que la conception et l'implantation de l'expérience.

La modélisation par simulation assume que l'on peut décrire un système par l'utilisation d'un système informatique. Dans cette optique, un concept clé est la description de l'état du système. Si un système peut être caractérisé par un ensemble de variables, avec chaque combinaison de valeurs de variables représentant un état unique ou une condition du système, alors la manipulation des valeurs des variables simule les mouvements du système d'un état à l'autre.

Les changements dans l'état du modèle peuvent arriver de manière continue ou à un instant discret. Cet instant discret peut être déterminé de façon déterministe ou stochastique, dépendamment du modèle. Dans l'étude actuelle, un tableur sera utilisé pour la simulation, vu la nature déterministe des données reliées au coût.

4.3.2 Design expérimental

D'abord, une définition précise d'une expérience est la suivante (Beauchamp et Abdul-Nour) :

« Une expérience est une étude dans laquelle certaines variables (ou facteurs) indépendantes (x) d'un procédé ou d'un système sont manipulées et leurs effets sur une ou plusieurs variables dépendantes (y) sont déterminés. »

Les objectifs d'une expérience peuvent différer d'un problème à un autre. Entre autres, l'objectif peut être de déterminer les variables ayant un effet sur une

réponse (variable dépendante), à quel niveau fixer les variables d'influence pour obtenir la valeur de la variable dépendante voulue ou pour obtenir une variabilité minimale ou pour minimiser les effets des variables incontrôlables.

Les applications du design expérimental sont nombreuses. Entre autres, son utilisation est fréquente pour améliorer le rendement d'un procédé, pour réduire la variabilité ou le temps de développement d'un procédé ou tout simplement pour réduire les coûts.

Les étapes à suivre pour effectuer un design expérimental sont les suivantes :

Expérience :

- Énoncer le problème
- Choisir des variables dépendantes ou réponses
- Sélectionner des variables indépendantes
- Choisir du niveau des variables (quantitatif, qualitatif, fixe, aléatoire)
- Choisir la combinaison des niveaux des variables

Design :

- Déterminer le nombre d'observations à prendre
- Déterminer l'ordre dans la collecte des informations
- Déterminer la méthode de randomisation à utiliser
- Choisir le modèle mathématique
- Déterminer les hypothèses à vérifier

Analyse :

- Collecter des données
- Effectuer les tests statistiques
- Interpréter les résultats

4.4 Résumé

Puisque la programmation mathématique s'avère une technique permettant de bien cibler les variables impliquées, la fonction objective et les contraintes, elle sera utilisée pour formuler le modèle. En ce sens, les tableaux suivants (XII et XIII) donnent un résumé de tous les coûts pouvant être impliqués dans la fonction objective ainsi que les contraintes à considérer. Par la suite, il sera possible de choisir les facteurs qui seront considérés pour établir le modèle mathématique approprié au cas étudié ici.

Tableau XII
Éléments du coût total

Emplacement	Type de coût	Dépend de :	Détails à considérer
Producteur	Production	Coût de production unitaire	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de production unitaire • Coût de main-d'œuvre • Coût de matières • Frais fixes
		Demande totale par cycle	<ul style="list-style-type: none"> • Cycle : temps total pendant lequel la pièce sera en demande (Peut être un mois, 6 mois, un an). • Période : temps plus court pendant lequel une demande est faite, par exemple, une semaine, une journée, etc.
	Set-up	Coût de set-up par fournisseur, par produit	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de set-up • Coût de la main-d'œuvre et du matériel • Coût de traitement des documents • Temps d'apprentissage des nouvelles opérations • Pièces défectueuses produites pendant la mise en route
		Nombre de set-up dans la période	<ul style="list-style-type: none"> • Production totale dans le cycle • Taille des lots de production¹.
	Inventaire	Production totale dans le cycle	
		Taux de production	
		Coût d'inventaire unitaire par période	<ul style="list-style-type: none"> • Coût de pénurie • Coût de commande • Coût de stockage
		Taille des lots	
		Quantité demandée dans une période	

¹ Dépend de la demande par période, des coûts de set-up (temps de set-up, coût de main-d'œuvre et matériel) et d'inventaire, utilisation de la quantité économique à commander (QEC).

Tableau XII (suite)

Emplacement	Type de coût	Dépend de :	Détails
	Pénalité	Demande pour une période	
		Taille du lot	
		Coût de pénalité unitaire	
	Recyclage	Quantité recyclée	
		Coût unitaire de recyclage	
Transport	Fixe		•
		Dépréciation du véhicule	• coût de dépréciation par véhicule par période • Longueur du cycle total
		Coût en capital	
		Salaire du conducteur	• Salaire par période • Distance, temps de chargement-déchargement
		Assurances	
	Variable	Inventaire des produits en route	• Taille des lots • Coût unitaire d'inventaire en route
		Emballage	• Nombre d'emballage • Coût d'emballage fixe et variable
		Essence	• Coût de l'essence • Distance
		Variable binaire si la route entre deux emplacements est empruntée	
		Pénalité par véhicule supplémentaire	

Tableau XII(suite)

Emplacement	Type de coût	Dépend de :	Détails
Client	Inventaire	Quantité commandée par le client ²	<ul style="list-style-type: none"> • Demande des détaillants, consommateurs ou ligne d'assemblage • Coût par commande • Coût d'inventaire
		Coût d'inventaire unitaire chez le client	<ul style="list-style-type: none"> • Pénurie • Coût de commande • Stockage
	Commande	Coût par commande (Nollet et al.1994)	<ul style="list-style-type: none"> • Préparation de la demande • Préparation du bon de commande • Traitement de l'information sur ordinateur • Frais de poste • Relance • Autorisation et paiement de factures • Réception de la marchandise • Manutention • Inspection
		Nombre de commandes	<ul style="list-style-type: none"> • Demande totale dans le cycle • Demande dans la période
	Commande en retard	Quantité en retard	
		Coût des commandes en retard	

² La quantité commandée par le client pourra être calculée avec la QEC et dépendra de la demande du client (peut être une ligne d'assemblage), de son coût de commande et de son coût d'inventaire.

Tableau XIII

Contraintes

Contraintes	Inclus :
Demande des clients satisfaite	<ul style="list-style-type: none"> • Quantité livrée par le fournisseur • Quantité demandée
Capacité de production des fournisseurs	<ul style="list-style-type: none"> • Quantité produite par le fournisseur • Capacité de production du fournisseur
Conservation de l'inventaire	<ul style="list-style-type: none"> • Demande du client • Capacité des camions • Quantité produite par le fournisseur
Conservation des flux	<ul style="list-style-type: none"> • Quantité livrée par le fournisseur • Quantité qui arrive chez le client
Capacité des véhicules en volume	<ul style="list-style-type: none"> • Volume des pièces • Demande du client
Capacité des véhicules en poids	<ul style="list-style-type: none"> • Poids des produits • Demande du client
Un véhicule par emplacement, par route	<ul style="list-style-type: none"> • Variable binaire si l'emplacement est servi par le véhicule
Continuité du trajet	
Un set-up par produit, par période	
Formation d'un graphe connecté	
Lots complets	

CHAPITRE 5

MÉTHODOLOGIE

5.1 Cas à l'étude

Pour effectuer une analyse correspondant à la réalité actuelle du marché, l'étude d'un cas réel a été effectuée. Le cas à l'étude concerne l'entreprise Bombardier Produits récréatifs qui se spécialise dans la conception et la fabrication de produits récréatifs tels que la moto marine, la motoneige et le véhicule tout-terrain.

La firme Bombardier Produits récréatifs entretient déjà, depuis quelques années, un réseautage privilégié avec certains de ses fournisseurs stratégiques par le biais de la Chaire. Ainsi, la Chaire Bombardier, une chaire de recherche en gestion du changement technologique dans les PME dotée d'une équipe de chercheurs multidisciplinaire, a élaboré un modèle conceptuel du réseau qui est illustré à la figure 11.

Le marché des véhicules récréatifs est un marché en mouvement continu. Les clients, comme dans plusieurs domaines, désirent le bon produit (véhicules récréatifs dans ce cas-ci), au bon moment, au bon endroit et à un bon prix. L'entreprise se doit donc d'élaborer ses objectifs en visant l'agilité organisationnelle et opérationnelle. Bombardier Produits récréatifs compte donc sur son réseau de fournisseurs pour l'aider à atteindre ses objectifs d'agilité surtout au niveau des délais de livraison, des coûts, et des inventaires. La recherche s'inscrit bien dans le contexte actuel de l'entreprise car elle aura un effet à trois niveaux : l'optimisation des coûts, le roulement d'inventaire et la diminution des délais.

conclure quelles pratiques sont appropriées pour concevoir et gérer des systèmes PID entre le donneur d'ordres et ses fournisseurs.

Une des pratiques déjà utilisée par le donneur d'ordres avec quelques-uns de ses fournisseurs est une tournée de véhicules, telle que présentée à la figure 12. Ce type de système sera étudié en détail.

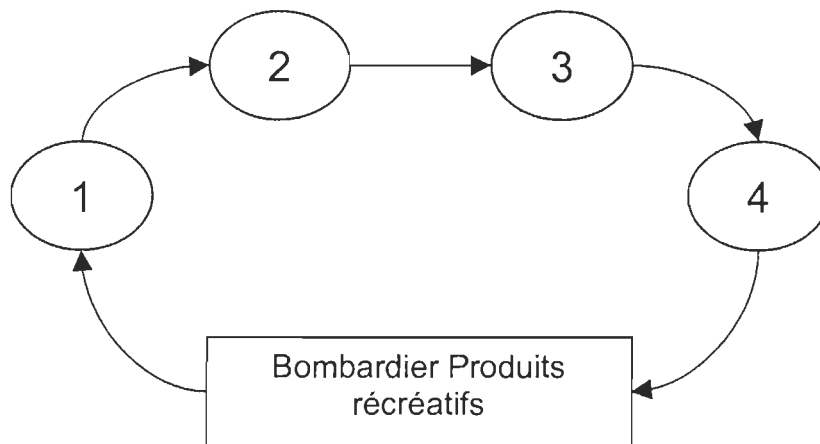


Figure 12 : Tournée des véhicules

Actuellement, une de ces tournées se fait à des heures régulières et comprend quatre fournisseurs de Bombardier. La tournée demeure toujours la même, c'est-à-dire qu'elle s'effectue dans le même ordre, passe chez les mêmes fournisseurs, aux même heures, à tous les jours de la semaine (du lundi au vendredi). Les fournisseurs doivent donc être prêts à livrer lorsque le transport s'amène à leur porte. Par contre, cette pratique apporte certains problèmes pour les fournisseurs relativement à leurs inventaire, délai et coûts. Ces problèmes seront étudiés dans la présente recherche.

5.2 Méthodologie détaillée

Afin de faire cette étude, plusieurs étapes ont été effectuées. Le tableau XIV donne les étapes effectuées.

Tableau XIV

Méthodologie du projet

Étape
Recherche théorique : Problématique Recension des écrits Recensement des modèles théoriques
Établissement du modèle mathématique préliminaire
Établissement d'une chaîne de valeur du système PID
Design expérimental relatif aux coûts des fournisseurs dans l'utilisation d'une tournée de véhicules incluant : <ul style="list-style-type: none"> • Expérience • Design • Analyse
Simulation et design expérimental pour étude globale de divers systèmes PID incluant : <ul style="list-style-type: none"> • Expérience • Design • Analyse
Discussion et interprétation des résultats
Conclusion, recommandations, rédaction

Les logiciels EXCEL et SAS ont été utilisés pour effectuer les simulations et les tests statistiques.

CHAPITRE 6

MODÈLE MATHÉMATIQUE

Le cas décrit au chapitre précédent pourra à ce moment de la recherche être défini en termes mathématiques. Pour ce faire, rappelons que le problème se divise en trois parties : production, inventaire et transport. Comme souligné plus tôt, l'optimisation pourrait se faire par composante du système ou globalement. Dans le cas de l'optimisation par composante, les trois modèles nécessaires consisteraient en un modèle de production, un d'inventaire ainsi qu'un de transport. Ce type d'optimisation faciliterait l'ajout de détails pour chacune des parties du problème, mais pourrait s'avérer moins pertinent dans le cas présent vu l'interdépendance des composantes du système à l'étude. D'un autre côté, l'optimisation simultanée des trois composantes permet d'en arriver à une optimisation globale du système, mais inclut des équations plus complexes. Dans le cas actuel, le modèle mathématique sera fait globalement pour le système.

6.1 Variables et hypothèses

Afin d'établir le modèle mathématique, il a été nécessaire de sélectionner les éléments de la fonction objective et des contraintes pour pouvoir établir une liste des variables à inclure. Les tableaux XV et XVI indiquent la définition des variables et des paramètres qui ont été utilisés pour établir le modèle mathématique.

Tableau XV

Définition des variables

Symbole	Définition
Q_{ijt}	Quantité commandée par le client au fournisseur i pour les produits de la famille j à la période t
F_{ijt}	Quantité fabriquée par lot pour les produits de la famille j par le fournisseur i à la période t
I_{ijt}	Quantité en inventaire pour les produits de la famille j pour le fournisseur i à la période t
R_{ik}	Variable binaire indiquant si le chemin entre les fournisseurs i et k est choisi ou non
R_{ikt}	Variable binaire indiquant si le chemin entre les fournisseurs i et k à la période t est choisi ou non
R_{klt}	Variable binaire indiquant si le chemin entre les fournisseurs k et l à la période t est choisi ou non
QE_{ij}	Quantité par emballage pour le fournisseur i pour les produits de la famille j

Tableau XVI

Définition des paramètres

Symbole	Définition
P_{ij}	Temps de production en heures pour une unité pour le fournisseur i pour les produits de la famille j
S_i	Temps de mise en route en heures pour le fournisseur i
CS_i	Coût d'une heure de mise en route pour le fournisseur i
CI_i	Coût d'inventaire pour le fournisseur i (en % de la valeur des produits /semaine)
D_{ij}	Valeur en \$ d'un produit de la famille j pour le fournisseur i
E_{ij}	Temps d'emballage d'une commande pour le fournisseur i pour les produits de la famille j en heures
CE_{ij}	Coût d'emballage par heure pour le fournisseur i pour les produits de la famille j
T_{ikt}	Temps de transport et de chargement entre les fournisseurs i et k en heures où $i=0$ pour le donneur d'ordres et 1,2,3,4 pour les fournisseurs
CT	Coût de transport par heure
CG	Coût en \$/ mètre cube de transport
CC_{ij}	Coût d'inventaire unitaire par jour chez le client pour le fournisseur i pour les produits de la famille j (%/\$/semaine)
C_i	Capacité de production en heures du fournisseur i
V_{ij}	Volume unitaire pour le fournisseur i pour la famille j en mètres cubes
W_{ij}	Poids unitaire pour le fournisseur i pour les produits de la famille j en kilogrammes

Tableau XVI (suite)

Symbole	Définition
CW_i	Capacité en poids du camion i en kilogrammes
CV_i	Capacité en volume pour le camion i en mètres cube
QT_{ij}	Quantité totale demandée dans l'horizon pour les produits de la famille j pour le fournisseur i
CO_i	Coût par commande pour le fournisseur i
TP_{ij}	Temps de préparation des expéditions pour le fournisseur i pour les produits de la famille j
TH_i	Taux horaire à l'expédition pour le fournisseur i
CF_i	Coût par facture pour le fournisseur i
T	Nombre de périodes dans l'horizon
N	Nombre de transports dans l'horizon
CFT	Coût fixe par transport
CFC	Coût de commande fixe par période
CFE	Coût fixe par emballage
CFX	Coût fixe par expédition

Ensuite, afin de pouvoir établir la fonction objective ainsi que les contraintes, certaines hypothèses et contraintes seront utilisées pour rendre réaliste et réalisable le modèle mathématique. Le tableau XXI indique ces hypothèses et contraintes.

Tableau XVII

Hypothèses et contraintes

Numéro	Hypothèse et/ou contrainte
A	Le lot fabriqué est toujours au moins égal au lot à livrer chaque jour (contrainte)
B	La quantité commandée par période (jour) est la quantité livrée dans la même période (contrainte)
C	Le modèle d'inventaire utilisé en est un linéaire avec consommation fixe à chaque période (jour). Donc, l'inventaire chez le fournisseur s'écoule d'une même quantité par période jusqu'à épuisement des stocks (hypothèse).
D	Le client consomme les produits dans la même journée qu'il les reçoit. Il ne supporte donc pas d'inventaire (hypothèse).
E	La capacité de production pour une journée suffit à la demande.

6.2 Fonction objective

La fonction objective a été établie en considérant les fonctions objectives des auteurs consultés et en prenant compte des spécifications du cas à l'étude. La fonction objective est donc une minimisation du coût total. Deux catégories de coûts seront considérées : les coûts pour le fournisseur (incluant le coût de mise en route, de commande, d'emballage, d'expédition et d'inventaire) et les coûts de transport. Le coût d'inventaire chez le client ne sera pas considéré puisque l'on considérera que les lots livrés sont utilisés dans la même journée. Aussi, les coûts de récupération ne seront pas considérés puisque l'intérêt pour cette partie du problème n'est pas primordial dans le cas à l'étude. La formulation de la fonction objective peut donc se faire comme à la figure 13.

$$\begin{aligned}
 MIN \quad Z = & \left[\frac{\sum_i^n \sum_j^m (QT_{ij})}{\sum_i^n \sum_j^m \sum_t^T F_{ijt}} \right] * S_i * CS_i + \\
 & \sum_i^n \sum_j^m \sum_t^T (I_{ijt} * D_{ij} * CI_i) + CFC * T + \left[\frac{\sum_i^n \sum_j^m (QT_{ij})}{\sum_i^n \sum_j^m \sum_t^T Q_{ijt}} \right] * CO_i + \\
 & \left[\frac{\sum_i^n \sum_j^m QT_{ij}}{\sum_i^n \sum_j^m QE_{ij}} \right] * \left(\sum_i^n \sum_j^m (E_{ij} * CE_{ij}) + CFE \right) + \sum_i^n \sum_j^m \sum_t^T \left[\left(\frac{QT_{ij}}{Q_{ijt}} \right) * (TP_{ij} * TH_i + CF_i + CFX) \right] \\
 & + N * CFT + \sum_{\substack{i \neq k \\ i=0}}^n \sum_t^T (T_{ikt} * CT * R_{ik}) + \sum_i^n \sum_j^m \sum_t^T (Q_{ijt} * V_{ij} * CG)
 \end{aligned}$$

Figure 13. Fonction objective

La première partie de l'équation consiste en le calcul du coût de mise en route du fournisseur. Cette partie calcule d'abord le nombre de set-up dans l'horizon en

utilisant la quantité totale demandée dans l'horizon par famille de produits ainsi que la quantité par lot fabriqué. Ensuite, elle considère le temps de mise en route et le coût imputé à une heure de mise en route.

La deuxième partie concerne le coût d'inventaire chez le fournisseur. Ce coût considère la quantité en inventaire, la valeur des produits ainsi que le coût d'inventaire en pourcentage de la valeur du produit par période.

La troisième partie concerne le coût de commande pour le fournisseur, qui considère d'abord le coût fixe par période puis le coût par commande. La quatrième partie inclut les coûts d'emballage fixes et variables. Elle prend donc en considération le nombre d'emballages ainsi que le temps, le coût par heure d'emballage ainsi que le coût fixe par emballage.

La cinquième partie concerne les coûts d'expédition et de facturation, ils se calculent avec le nombre de commandes, le temps de préparation des expéditions, le taux horaire à l'expédition ainsi que le coût par facture. Elle inclut aussi le coût fixe par expédition.

Les sixième et septième parties consistent en le calcul du coût de transport, incluant successivement le coût de transport par période de temps, le coût fixe par transport et le coût de transport par volume.

6.3 Contraintes

Certaines contraintes, provenant de la littérature et de l'étude du cas, ont été retenues. Elles sont présentées à la figure 14.

$$\begin{aligned}
1. \quad & \sum_i^n \sum_j^m \sum_t^T \left[QT_{ij} * P_{ij} + \left(\frac{QT_{ij}}{F_{ijt}} \right) * S_i \right] \leq C_i \quad \forall i \\
2. \quad & \sum_i^n \sum_j^m \sum_t^T (Q_{ijt} * W_{ij}) \leq CW_t \quad \forall t \\
3. \quad & \sum_i^n \sum_j^m \sum_t^T (Q_{ijt} * V_{ij}) \leq CV_t \quad \forall t \\
4. \quad & \sum_i^n \sum_j^m \sum_t^T (F_{ijt}) \geq \sum_i^n \sum_j^m \sum_t^T (Q_{ijt}) \\
5. \quad & \sum_{\substack{i \neq k \\ i=0}}^n R_{ikt} = \sum_{\substack{i \neq k \\ i=0}}^n R_{klt} \\
6. \quad & I_{ijt} = I_{ij(t-1)} + F_{ijt} - Q_{ijt} \quad \forall t, i, j
\end{aligned}$$

Figure 14. Contraintes

Les contraintes se définissent donc ainsi :

- Contrainte 1 : Capacité de production des fournisseurs. Cette contrainte se répète pour les quatre fournisseurs.
- Contraintes 2 et 3 : Capacité des camions en poids et en volume. Ces contraintes se répètent à chaque période.
- Contrainte 4 : Assure que la quantité fabriquée sera plus élevée que la quantité commandée pour chaque commande.
- Contrainte 5 : Assure qu'un camion qui fait une cueillette chez un fournisseur en repart.
- Contrainte 6 : Assure le équilibrage d'inventaire entre ce qui est fabriqué et demandé.

Ce modèle mathématique sera utilisé comme référence de base dans cette recherche. La fonction objective servira à calculer les coûts du système de tournée de véhicules (chapitre 8).

CHAPITRE 7

CHAÎNE DE VALEUR

Dans le but d'étudier une chaîne de valeur du système de production-inventaire-distribution (PID), un diagramme de processus, une liste des problèmes par étape du processus ainsi qu'une matrice en T des problèmes et causes dans ce processus ont été établis.

7.1 Diagramme de processus

Le diagramme de processus permettra de visualiser les étapes franchies par les documents et les produits dans le système PID. Le diagramme décrit les opérations à partir du moment où les prévisions de ventes sont effectuées par le donneur d'ordres (ici, Bombardier Produits Récréatifs) jusqu'au moment où celui-ci reçoit les pièces de ses fournisseurs chez lui. Les données recueillies auprès des fournisseurs ainsi que du donneur d'ordres ont été utilisées pour développer un diagramme représentant la réalité. La figure 15 montre ce diagramme. Les entités impliquées dans chaque étape sont identifiées par les titres du haut.

Dans cette figure, il importe de remarquer que les opérations sont effectuées par les fournisseurs, le donneur d'ordres et les fournisseurs de niveau 2³. Cette figure représente les opérations dans l'ordre dans lequel elles sont habituellement effectuées. Par contre, certains fournisseurs peuvent avoir des étapes en plus ou en moins, selon leur situation.

³ Les fournisseurs de niveau 2 sont les fournisseurs et les sous-traitants des fournisseurs du donneur d'ordres.

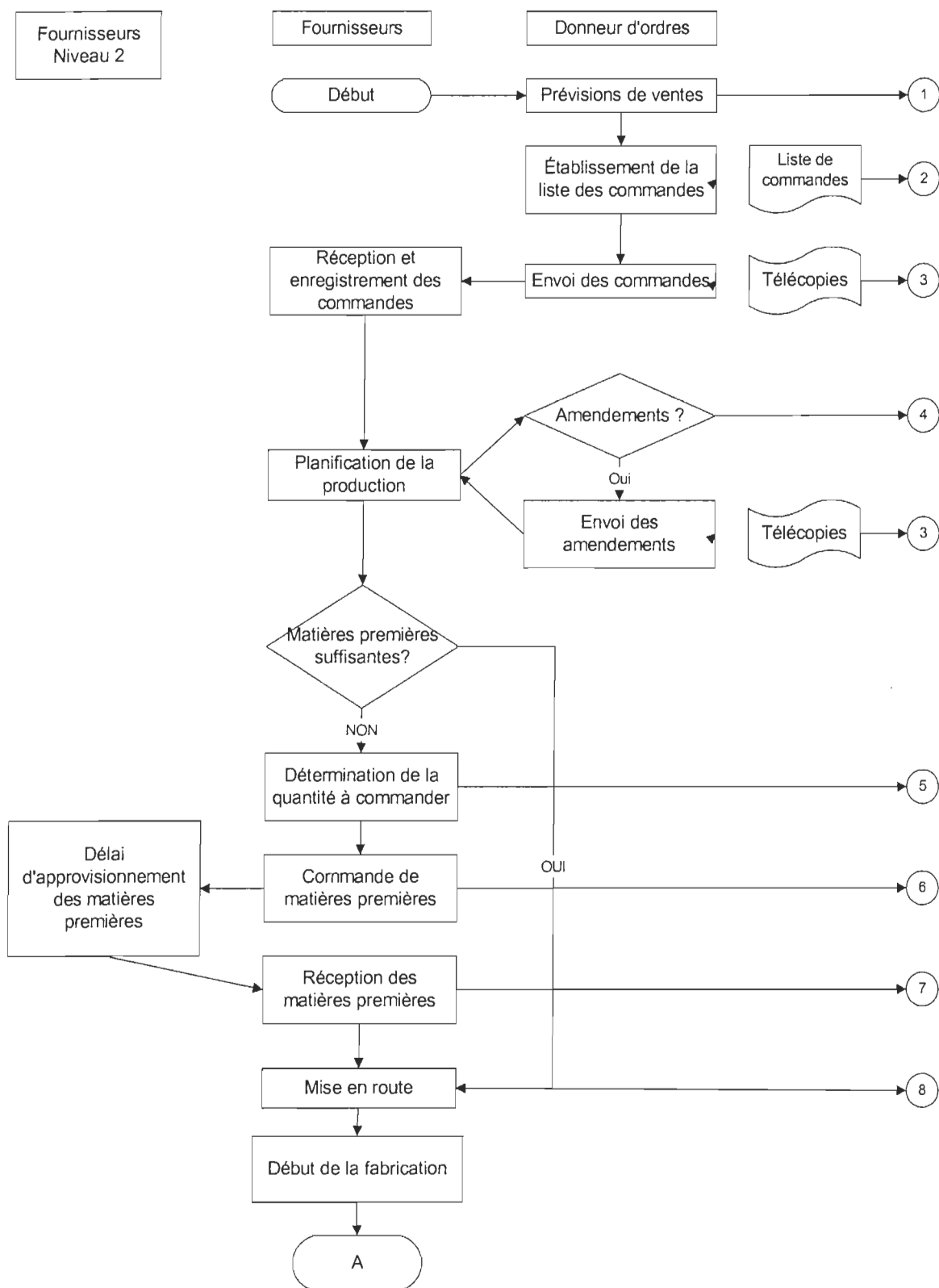


Figure 15. Diagramme de processus

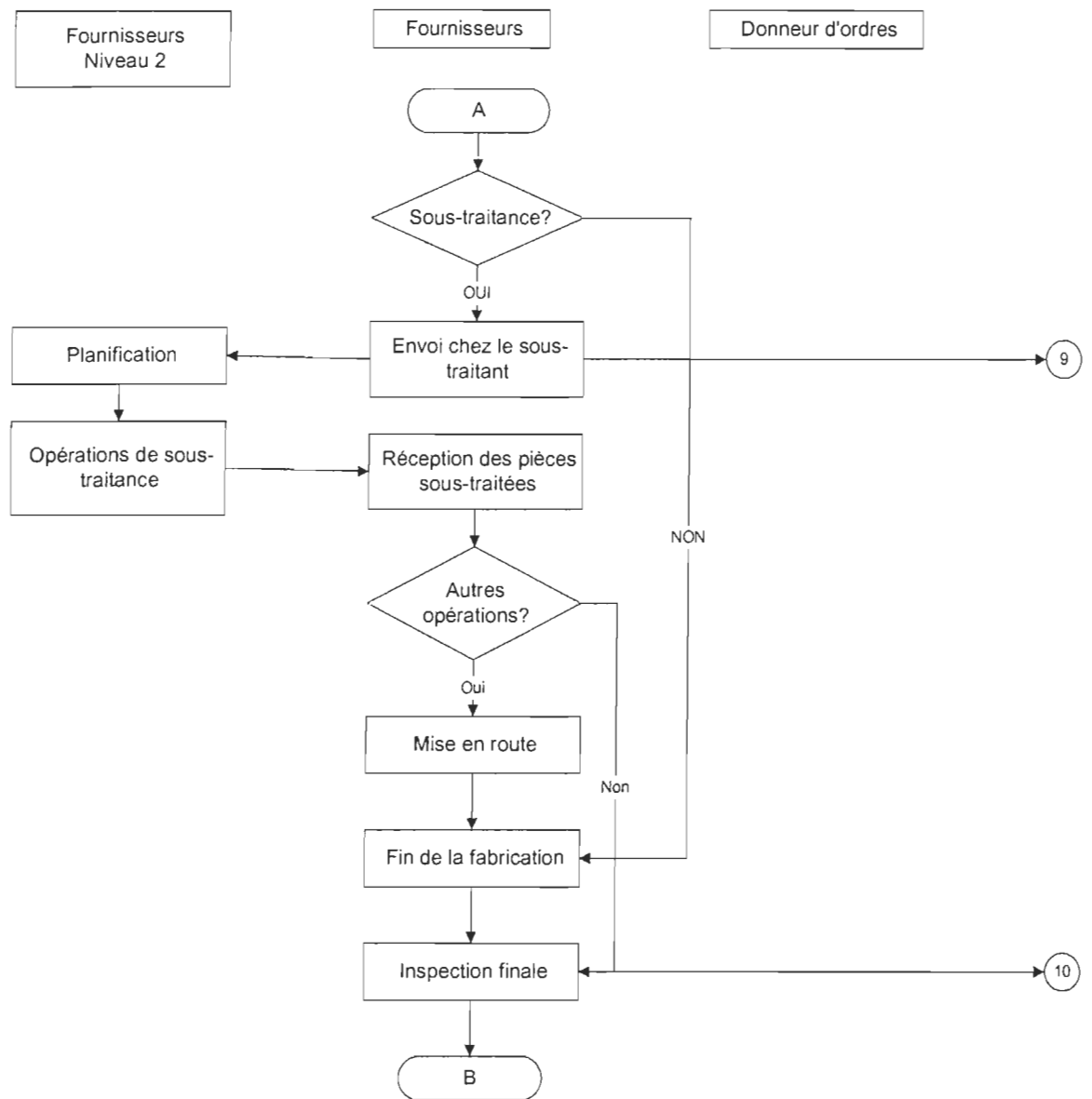


Figure 15 (suite). Diagramme de processus

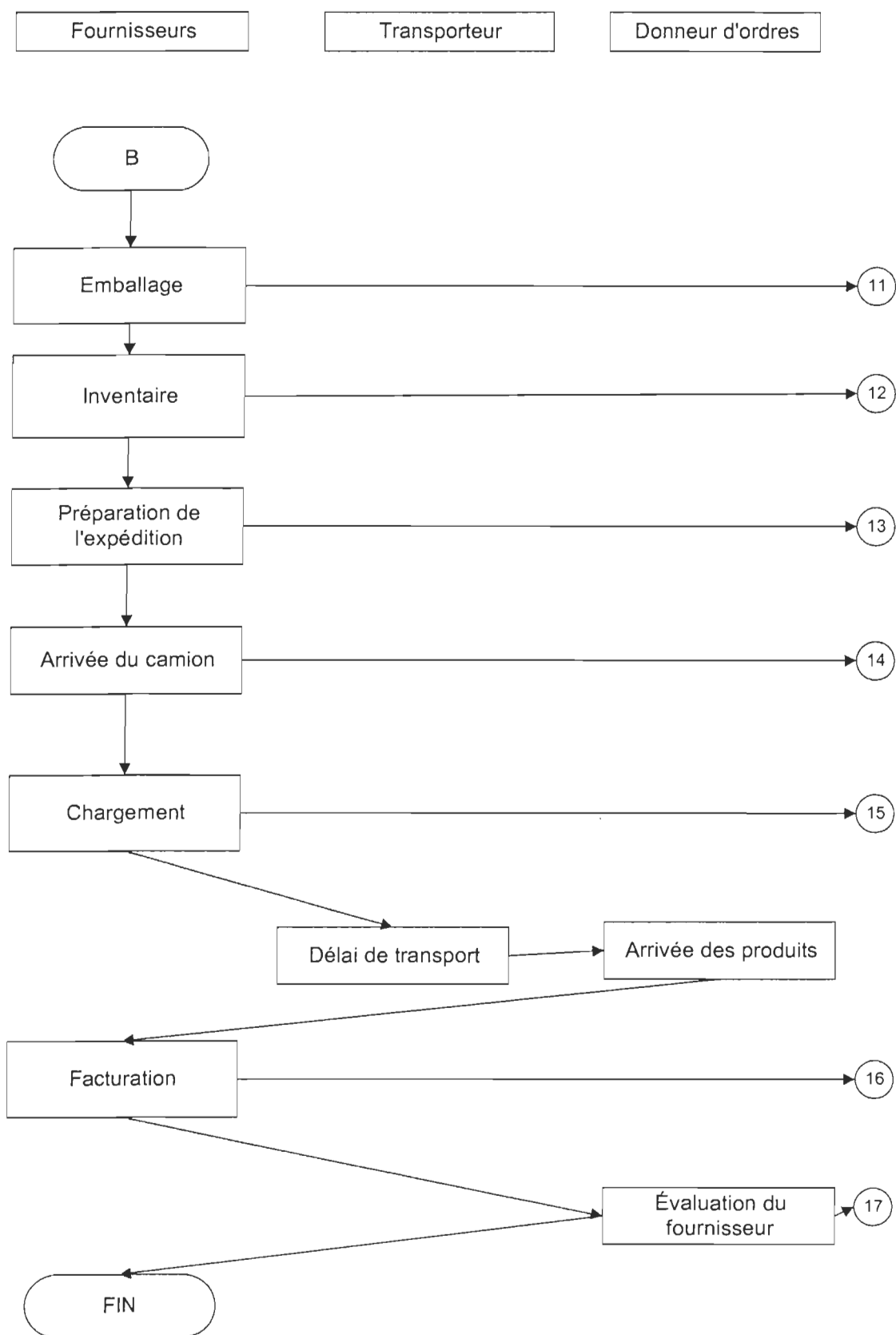


Figure 15(suite). Diagramme de processus

7.2 Activités à valeur non-ajoutée

Le diagramme du processus présenté à la section précédente donne les étapes par lesquelles le produit et les documents passent. Par contre, il donne peu d'indications sur la performance de ces activités. Le tableau XVIII se veut donc une description des activités à valeur non-ajoutée et des problèmes pour chacune des étapes du diagramme de processus identifiées par les numéros dans les cercles de droite.

Tableau XVIII :

Activités à non-valeur ajoutée et/ou problèmes selon l'étape du processus

#	Étape	Activités à valeur non-ajoutée et/ou problèmes
1	Prévisions des ventes	<ul style="list-style-type: none"> • Fluctuations du marché
2	Établissement de la liste de commandes	<ul style="list-style-type: none"> • Liste des commandes très détaillée pour des périodes lointaines • La liste des commandes des pièces de la tournée inclut les pièces de faible valeur • Multiplication du nombre de commandes par au moins 5 fois versus l'ancienne méthode • Commande de produits non-standards • Commandes de fin de saison posent des problèmes de gestion
3	Envoi des commandes	<ul style="list-style-type: none"> • Envoi des commandes par télécopies, dépense inutile de temps et de papier • Liste des commandes très détaillée
4	Amendements	<ul style="list-style-type: none"> • Quantité d'amendements élevée • Amendements de dernière minute fréquents
5	Envoi des amendements	<ul style="list-style-type: none"> • Envoi des amendements par télécopies, dépense inutile de temps et de papier • Liste très détaillée
6	Délai d'approvisionnement des matières premières	<ul style="list-style-type: none"> • Quantité de matières premières à commander élevée • Fournisseurs de niveau 2 peu flexibles • Délai d'approvisionnement des matières premières élevé • Pas de livraisons fréquentes pour la plupart des fournisseurs de niveau 2

Tableau XVIII (suite)

#	Description de l'activité	Activités à valeur non-ajoutée et/ou problèmes
7	Réception des matières premières	<ul style="list-style-type: none"> Espace nécessaire pour l'entreposage des matières premières élevé Réception des pièces pour plusieurs semaines à l'avance
8	Mise en route	<ul style="list-style-type: none"> Temps de mise en route élevés et non connus précisément Taille des lots de production élevée
9	Planification chez le sous-traitant	<ul style="list-style-type: none"> Planification des sous-traitants selon la politique du premier arrivé, premier servi Temps d'opération longs (ex. traitement thermique)
10	Inspection finale	<ul style="list-style-type: none"> Détection de défauts à la fin de la production Plus de lots sont à vérifier Fréquence des vérifications à revoir
11	Emballage	<ul style="list-style-type: none"> Transferts d'emballage fréquents Emballages non-standards
12	Inventaire	<ul style="list-style-type: none"> Mise en inventaire des produits finis en grands lots Temps d'inventaire des produits finis plus long
13	Préparation de l'expédition	<ul style="list-style-type: none"> Multiplication du nombre d'expéditions donc de préparations
14	Arrivée du camion	<ul style="list-style-type: none"> Heure d'arrivée du camion plus ou moins précise Heure d'arrivée du camion en même temps que d'autres clients, fournisseurs, sous-traitants
15	Chargement	<ul style="list-style-type: none"> Temps de vérification du transporteur pas optimal Informations du transporteur pas à jour Infrastructure pas adaptée (manque de quais, espace restreint, etc.) Retour des contenants vides difficile
16	Facturation	<ul style="list-style-type: none"> Multiplication du nombre de factures Fond de roulement nécessaire plus élevé
17	Évaluation du fournisseur	<ul style="list-style-type: none"> Vulnérabilité aux résultats d'évaluation pour les fournisseurs (Programme de Gestion de Performance des Fournisseurs)

7.3 Problèmes majeurs et causes

Suite à l'examen des activités à valeur non-ajoutée et des problèmes, une classification a été établie. Huit catégories de problèmes ont été ciblées ainsi que leurs causes possibles. Le tableau XIX donne les principaux problèmes ainsi que leurs causes.

Tableau XIX

Problèmes principaux et causes reliées

#	Problèmes	Causes possibles
1	Délais de sous-traitance élevés	Préparation des sous-traitants inadéquate (Peu de flexibilité et d'agilité) Relations fournisseurs-sous-traitants de niveau 2 non établies Politiques des sous-traitants niveau 2 (Premier arrivé, premier servi)
2	Délais de réception des matières premières élevés	Fournisseurs niveau 2 éloignés Préparation des fournisseurs niveau 2 inadéquate (peu de flexibilité et d'agilité) Relations fournisseurs-fournisseurs niveau 2 non établies
3	Délais internes chez les fournisseurs élevés	Taille des lots élevée Temps de mise en course élevés Inspections : délais élevés et découverte de produits défectueux trop tard L'ajout de systèmes temporaires pour contrer les effets de la livraison quotidienne non optimisé Manque de préparation des fournisseurs Augmentation de la fréquence de livraisons
4	Augmentation des coûts de gestion des commandes	Multiplication du nombre de commandes de 5 à 10 fois par rapport à un système en transports directs Nombre d'amendements élevés Système de communication inapproprié (télécopies) Politique d'envoi des commandes inadéquate.
5	Augmentation des coûts de mise en route	Temps de mise en route élevés Produits non-standards Changements de dernière minute Augmentation de la fréquence et du nombre de livraisons

Tableau XIX (suite)

#	Problèmes	Causes possibles
6	Augmentation des coûts d'emballage	Gestion inadéquate des produits de faible valeur Changements de dernière minute Transferts d'emballage Types d'emballage non-standards Augmentation de la fréquence de livraison Augmentation du nombre de commandes
7	Augmentation des coûts d'expédition et de facturation	Non-synchronisation avec l'arrivée des autres transporteurs Fréquence des livraisons trop élevée Infrastructure inadéquate Augmentation du nombre de commandes donc de factures Changements de dernière minute Gestion inadéquate des produits de faible valeur
8	Augmentation de l'inventaire chez les fournisseurs	Préparation inadéquate des fournisseurs Taille des lots élevée Politiques des fournisseurs et sous-traitants inadéquates Quantité de matière première à commander élevée Systèmes temporaires non-optimaux Temps de mise en route longs Préparation inadéquate du niveau 2 (peu de flexibilité et d'agilité) Produits non-standards Gestion inadéquate des produits de faible valeur

Comme peut le révéler le tableau précédent, certaines causes sont à l'origine de plusieurs problèmes. De plus, ces problèmes peuvent avoir un impact plus ou moins grand sur les délais, les inventaires et les coûts. Afin de quantifier ces impacts, une matrice en T sera établie et détaillée à la section suivante.

7.4 Matrice en T

La matrice en T a une double utilité : elle permettra de faire le lien entre les problèmes et les causes et elle pourra permettre de déceler l'impact de ces problèmes sur les délais, les inventaires et les coûts. La quantification de ces impacts ainsi que des causes permettra de déceler les problèmes prioritaires ainsi que les causes reliées à ceux-ci.

7.4.1 Conception de la matrice en T

La matrice en T a été conçue à partir des consultations effectuées auprès des quatre fournisseurs de la tournée de véhicules. Elle comprend 8 problèmes majeurs et plus de 30 causes. Les relations entre les problèmes et les causes ainsi que les impacts sont notés par 1, 3 ou 5⁴. La matrice est présentée à la figure 16.

À titre d'exemple, concernant le problème des délais de réception élevés des matières premières, une des causes principales est la préparation inadéquate des fournisseurs et sous-traitants de niveau 2. Cette relation est coté « 5 » à cause de la forte relation cause à effets entre les deux. Un autre exemple serait la relation entre l'augmentation de l'inventaire chez les fournisseurs et la gestion des pièces de faible valeur. Le fait de livrer ces pièces quotidiennement, malgré la production par grande quantité cause une augmentation d'inventaire et un entreposage plus long. La relation cause à effet ici est d'envergure moyenne (coté 3).

⁴ Signification : 1 : faible relation ou impact ; 3 : relation ou impact moyen ; 5 : relation ou impact fort; vide : aucune relation ou impact.

Causes		Pointage							Total
Horaire d'expédition non-respecté			1				3		4
Systèmes temporaires non optimaux			5	5			3	5	18
Augmentation du nombre de commandes			5	5	5	5	5		25
Augmentation de la fréquence de livraisons			5	5	5	5	5	3	28
Tâches du transporteur							3		3
Infrastructure de l'expédition inadéquate			1				5	1	7
Distance fournisseurs et ST niveau 2	5	5						3	13
Taille des ST et fournisseurs niveau 2	5	5						5	15
Information non-compatible d'une entité à l'autre			1	3		1	3		8
Vision du marché plus ou moins précise			1	1				3	5
Méthodes de prévisions	1	1	1	1				3	7
Préparation des fournisseurs inadéquate	3		5	3	3	3	3	5	25
Préparation des fournisseurs et ST N2 inadéquate	5	5						3	13
Manque de flexibilité des fournisseurs et ST N2	5	5						5	15
Politiques des sous-traitants et fournisseurs N2	5	5						3	13
Relations sous-traitants et fournisseurs N2	5	5						3	13
Changements de dernière minute	3	3	5	5	5	5	5	3	34
Non-standardisation des produits	5	5	5		5	3	3	5	31
Taille des lots élevée	3	3	5					5	16
Temps de mise en course longs			5		5			5	15
Temps de mise en course et production inconnus			3		3				6
Gestion inadéquate des produits de faible valeur			3	1		5	5	3	17
Politiques d'envoi des commandes non optimales	1	1	5	5					12
Amendements fréquents	1	1	3	5	3			3	16
Temps d'inspection longs			5			1			6
Détection des défauts trop tard			5		3	3			11
Type d'emballages non standard			5			5	3	1	14
Temps de chargement trop long			1				5		6
Système de communication (télécopies)			3	5	1		1		10
Transferts d'emballage			5			5	5	1	16
Impact	Problèmes	Délais de ST élevés	Délais de réception MP élevés	Délais internes	Augmentation des coûts de gestion des commandes	Augmentation des coûts de mise en route	Augmentation des coûts d'emballage	Augmentation des coûts d'expédition et de facturation	Augmentation de l'inventaire chez les fournisseurs
Délais		5	5	5		1			
Inventaires			3						5
Coûts		1	1	1	5	5	5	5	3
Total		6	9	6	5	6	5	5	8

NOTES :

ST: sous-traitance

MP: matières premières

N2: niveau 2

Figure 16. Matrice en T

7.4.2 Interprétation de la matrice en T

Chacune des cotes de la matrice pourrait être regardée en détail. Par contre, la présentation des principaux points servira à bien comprendre l'interprétation pouvant être faite de cette matrice. Le tableau XX présente les principaux points ou commentaires à retenir.

Tableau XX

Points à retenir et commentaires relatifs à la matrice en T

#	Commentaires
1	<u>Les délais de sous-traitance</u> sont principalement causés par le manque de flexibilité des sous-traitants ainsi que leurs politiques de priorisation des commandes. Souvent, les sous-traitants fonctionnent en premier arrivé-premier servi. Aucun des fournisseurs n'a de relations privilégiées avec ses sous-traitants, soit par manque d'intérêt des sous-traitants, soit par négligence des fournisseurs. De plus, plusieurs sous-traitants ont des procédés longs (par exemple, les traitements thermiques) qui ne peuvent être raccourcis, à cause de la nature du procédé. Finalement, les sous-traitants demandent souvent des lots minimums à leur être envoyés, ce qui oblige les fournisseurs à leur envoyer de grands lots.
2	<u>Les délais de réception des matières premières</u> , tout comme les délais de sous-traitance, sont dus au manque de flexibilité, à la préparation inadéquate et aux politiques des fournisseurs de niveau 2. Ce manque de flexibilité est dû à la taille des entreprises fournisseurs et à la distance de ceux-ci, ce qui se conclut par une augmentation des quantités minimum à commander et une fréquence de livraison basse (pour certains, tous les 6 mois). De plus, vu la non-standardisation des produits, les fournisseurs et sous-traitants de niveau 2 demandent une quantité commandée élevée, surtout pour les produits de faible valeur.

Tableau XX(suite)

#	Commentaires
3	<p><u>Les délais internes</u> concernent le temps de cycle chez les fournisseurs. D'abord, avant l'arrivée de la tournée de véhicules quotidienne, la préparation des fournisseurs n'était pas complétée. Par exemple, la taille élevée des lots, les temps de mise en course élevés, l'emballage et la préparation de l'expédition non optimale et les temps d'inspection trop longs en sont des preuves. Pour ce qui est des causes externes, les changements de dernière minute du client, la demande des pièces de faible valeur en petites quantités, les amendements fréquents, les produits non-standards et l'augmentation du nombre de commandes et de livraisons sont les principales causes à souligner.</p>
4	<p><u>L'augmentation des coûts de gestion des commandes</u> est surtout causée par l'augmentation du nombre de commandes. Par contre, une cause à ne pas négliger est la fréquence des amendements, qui multiplie les manipulations des commandes et donc les coûts reliés. De plus, l'envoi des commandes quotidiennes pour une période très longue ne facilite pas la gestion de celles-ci. Également, le système de communication étant toujours la télécopie, les coûts reliés sont plus élevés que par informatique, par exemple.</p>
5	<p><u>L'augmentation des coûts de mise en route</u> est reliée à des causes internes telles que les temps de mise en route élevés et la détection des défauts trop tard. Aussi, plusieurs causes externes sont présentes : changements de dernière minute, non-standardisation des produits demandés et augmentation du nombre de commandes.</p>

Tableau XX(suite)

#	Commentaires
6	<p><u>L'augmentation des coûts d'emballage</u> est causée surtout par les nombreux transferts de gros emballages vers de plus petits, nécessitant parfois une ressource supplémentaire. Par contre, dans certains cas, des travaux d'optimisation des emballages avaient déjà été entrepris pour certains fournisseurs et devront être revus car il est présentement nécessaire de faire des transferts d'emballage. Entre autres, pour les produits de faible valeur, les transferts d'emballage peuvent s'avérer être une partie importante du coût du produit. De plus, les emballages non-standards et les changements de dernière minute collaborent à l'augmentation de ces coûts. Finalement, l'augmentation du nombre de commandes à livrer et de la fréquence des livraisons multiplie les coûts d'emballage.</p>
7	<p><u>L'augmentation des coûts d'expédition et de facturation</u> est due surtout à la nouvelle fréquence de livraison, qui nécessite au moins 5 fois plus de préparation d'expédition et de facturation qu'auparavant, donc l'ajout de personnel devient inévitable. Aussi, les fournisseurs ne possèdent pas l'infrastructure nécessaire pour accueillir les transporteurs et planifier ces arrivées. De plus, le temps de chargement long et prédéterminé ne permet pas de flexibilité pour les autres livraisons et réceptions. Finalement, les changements de dernière minute nécessitent la reprise des préparations déjà faites et augmentent les coûts.</p>
8	<p><u>L'augmentation de l'inventaire</u> chez les fournisseurs semble être le problème le plus considérable, du côté qualitatif. Cette augmentation est due à la gestion des pièces de faible valeur, à la taille des lots trop élevée, aux temps de mise en course trop élevés, au manque de flexibilité de leurs fournisseurs qui ne livrent que des lots de quantité élevée et au manque de préparation qu'ils avaient pour ce nouveau système de livraisons. Les fournisseurs ont donc instauré des systèmes temporaires pour pouvoir livrer quotidiennement, mais ils ne sont pas optimisés et augmentent les inventaires de produits finis.</p>

Par ailleurs, la matrice en T nous permet de distinguer les problèmes ayant le plus d'impact sur les délais, les coûts et les inventaires. De la matrice, il est donc

possible de distinguer deux problèmes majeurs : les délais de réception de matières premières et l'augmentation de l'inventaire chez les fournisseurs. Par contre, il importe de souligner que les problèmes reliés aux fournisseurs de niveau 2 (fournisseurs de matière première ou sous-traitants), consistent en une part élevée des problèmes.

Globalement, la cause de plusieurs problèmes semblent la présence de changements de dernière minute, suivi de près par la non-standardisation des produits. Pratiquement au même niveau se situent les causes suivantes : augmentation du nombre de commandes et de la fréquence de livraison (par rapport à l'ancienne pratique) et préparation inadéquate des fournisseurs. D'ailleurs, si seuls les deux problèmes majeurs sont regardés, les causes les plus probables de ces problèmes semblent la taille des fournisseurs et sous-traitants de niveau 2, le manque de flexibilité des fournisseurs et sous-traitants de niveau 2 et la non-standardisation des produits.

7.5 Conclusion

Cette partie de l'étude étant terminée, elle nous permettra de faire une analyse quantitative. En effet, les causes ayant été déterminées comme majeures et pouvant être quantifiées facilement seront utilisées pour la prochaine étape : l'analyse des facteurs quantitatifs par le biais d'un design expérimental et d'une simulation.

CHAPITRE 8

DESIGN EXPÉRIMENTAL

L'analyse quantitative du système PID s'effectuera en deux blocs : étude des coûts pour les fournisseurs (analyse scindée) et étude du coût globale (analyse systémique). Dans un premier temps, l'étude des coûts engendrés chez les fournisseurs sera effectuée par un design expérimental qui permettra de déterminer les facteurs qui influencent les coûts des fournisseurs. Un design expérimental sera fait par fournisseur, de là l'analyse étant considérée comme scindée. Les résultats attendus de cette partie de l'étude seront donc une liste des facteurs significatifs ainsi que les niveaux optimaux de chacun de ces facteurs. Les facteurs influents pourront alors être utilisés dans l'étude du système global, la prochaine étape de ce projet.

8.1 Expérience

8.1.1 Choix des variables dépendantes

Dans cette expérience, une seule variable dépendante sera considérée : le coût global pour les fournisseurs. Cette variable comprendra, entre autres, les coûts de commande, de mise en route, d'emballage, d'expédition et d'inventaire. Par contre, ces coûts dépendront de divers facteurs, discutés à la section suivante.

8.1.2 Choix des variables indépendantes

Les variables indépendantes seront celles qui influenceront le coût global de fonctionnement pour les fournisseurs. Ces variables ont été choisies suite aux visites en entreprises et à l'étude qualitative présentée au chapitre précédent. Cinq facteurs ont été retenus et sont nommés au tableau XXI.

Tableau XXI

Variables indépendantes

Variables
Valeur du produit
Facteur amendement
Temps de mise en route
Quantité par emballage
Nombre de commandes par semaine

8.1.3 Choix des niveaux des variables

Pour chacune des variables, afin de voir si des effets quadratiques sont présents, il a été décidé de fixer trois niveaux. Les niveaux pour chacun des facteurs sont différents d'un fournisseur à un autre. Par contre, certains facteurs seront utilisés toujours avec les mêmes niveaux pour tous les fournisseurs : facteur amendement et nombre de commandes par semaine.

À partir des données recueillies, un tableau des valeurs incluant certaines constantes par entreprise ont été utilisées pour faire les calculs des coûts. Le tableau XXII donne la liste des données utilisées et l'utilité de celles-ci. Ces données ont été obtenues suite à des visites et/ou conversations téléphoniques avec les quatre fournisseurs impliqués dans la tournée de véhicules actuelle. Les questions posées à ceux-ci se trouvent à l'annexe A.

Tableau XXII

Liste des données utilisées

Données	Utilité
Quantité totale par cycle	Nombre de mises en route dans le cycle et nombre d'emballages, donc coûts de mise en route et d'emballages
Coût de mise en route en \$/heure	Coût de mise en route et lot à fabriquer
Temps par emballage	Coût d'emballage
Coût fixe d'emballage par semaine	Coût d'emballage
Coût variable d'emballage (\$/h)	Coût d'emballage
Coût fixe de commande par semaine	Coût de commande
Coût par amendement	Coût de commande
Temps de préparation des expéditions	Coût d'expédition
Taux horaire à l'expédition (\$/h)	Coût d'expédition
Coût fixe par expédition	Coût d'expédition
Coût par facture	Coût d'expédition
Coût d'inventaire (%/\$/semaine)	Coût d'inventaire
Taille des lots fabriqués	Coût mise en route et inventaire. Cette taille des lots est calculée avec la formule du lot économique de production.

8.2 Design

Le plan utilisé sera un L27, puisqu'il permet d'étudier les effets des 5 variables indépendantes retenues pour cette expérience et que chaque variable a 3 niveaux. Aucune interaction ne sera considérée. Une observation par cellule d'expérience sera prise pour un total de 27 expériences. Un plan d'expérience par fournisseur sera effectué. L'annexe B présente le plan utilisé ainsi que le graphique linéaire choisi.

Pour effectuer les tests, des feuilles de calcul du tableur « Excel » ont été utilisées. Les formules utilisées pour calculer les coûts sont celles du modèle

mathématique présenté au chapitre 6, mis à part que les coûts de transport ne sont pas inclus à ce moment de l'étude. Un exemple d'une feuille utilisée est présenté à l'annexe C.

8.3 Analyse

8.3.1 Collecte des données

Les données retenues sont le coût total, le coût de commande, le coût d'emballage, le coût d'expédition, le coût d'inventaire et le coût de mise en route. Les résultats de cette collecte de données sont présentées à l'annexe D.

8.3.2 Tests statistiques

Une analyse de variance (ANOVA) ainsi que les tests de Newman-Keuls ont été effectués pour voir quels facteurs ont un effet significatif. Dans ces tests, tous les coûts des fournisseurs ont été étudiés. Ces tests ont été effectués avec SAS. Le programme entré pour chacun des fournisseurs pour le coût total est inclus à l'annexe E.

8.4 Conditions du test

Les quatre fournisseurs ayant participé à cette étude ont tous des particularités. Une description de leurs caractéristiques est donc présentée.

Pour le fournisseur 1, les valeurs de produits observées ont été 1, 10, 100 (valeur dont les logarithmes sont équidistants). Pour ce fournisseur, il est plutôt rare que les produits aient des valeurs aussi faibles que 1 et aussi élevées que 100. Ce fournisseur a, entre autres, un temps de mise en route qui est généralement plus bas que les autres fournisseurs. La quantité réelle par emballage pour celui-ci est d'environ 250 pièces, mais des quantités de 100 et 400 pièces par emballage ont tout de même été testées pour voir leurs effets sur le coût total. Finalement, une caractéristique de ce fournisseur est que la quantité totale demandée par an est moyenne.

Pour le deuxième fournisseur, les valeurs de produit observées ont été les mêmes que pour le fournisseur 1. Pour ce fournisseur, deux types de produits sont présents : un produit ayant une valeur élevée et une quantité par emballage faible et un produit ayant une valeur moyenne et une quantité par emballage moyenne. Un troisième produit, un peu plus rare, a une valeur moindre et peut être emballé avec des quantités plus élevées par emballage. Ce fournisseur a un temps de mise en route qui est un peu plus élevé que celui du fournisseur 1. La quantité par emballage pour ce fournisseur est très variable, passant de 30 à 830. Finalement, la quantité totale demandée à ce fournisseur par an est élevée et 17% (en quantité⁵) sont des produits d'une valeur élevée.

Pour le fournisseur 3, les valeurs de produit observées ont été les mêmes que pour le fournisseur 1 et 2. Pour ce fournisseur, la plupart des produits sont de valeur moyenne. La quantité par emballage est souvent près de 250 mais aussi d'environ 400 pour certains produits. Ce fournisseur a un temps de mise en route qui est près de celui du fournisseur 2, donc un peu plus élevé que le fournisseur 1. Finalement, la quantité totale demandée par an pour ce fournisseur a dû être estimée, par manque de données.

Pour ce qui est du fournisseur 4, les valeurs des produits sont différentes des autres fournisseurs. En effet, ce fournisseur fournit des pièces de très faible valeur (quelques fois, de quelques sous). Par contre, ils fournissent aussi des produits de valeur un peu plus élevée. D'ailleurs, le nombre de produits différents que cette entreprise fournit est élevé. La quantité par emballage est donc souvent assez élevée par rapport aux autres fournisseurs. Ce fournisseur a un temps de mise en route qui est près de celui du fournisseur 2 et 3, donc un peu plus élevé que celui du fournisseur 1. Finalement, la quantité totale demandée par an pour

⁵ Il importe de souligner que le temps passé à la fabrication de ces produits représente le double de ce qui est fait pour les autres produits envoyés à ce client.

ce fournisseur est largement supérieure aux quantités demandées aux autres fournisseurs.

8.5 Résultats

Par le biais d'une analyse de variance (ANOVA) et des tests sur les moyennes, il a été possible d'obtenir certains résultats importants : la liste des facteurs ayant un impact significatif sur chacun des coûts et l'effet des variables significatives sur ces mêmes coûts. Dans un premier temps, la section 8.5.1 présente les facteurs significatifs pour chacun des types de coûts. Par la suite, la partie 8.5.2 présente le détail de l'analyse de variance et les graphiques des coûts totaux en fonction des niveaux des facteurs.

8.5.1 Facteurs significatifs

Pour chacun des coûts, les facteurs influents ont été déterminés par fournisseur. Le tableau XXIII fournit la liste de ces facteurs.

Tableau XXIII

Facteurs significatifs pour les divers coûts étudiés

Coût	Fournisseur 1	Fournisseur 2	Fournisseur 3	Fournisseur 4
Coût de commande	Nombre d'amendements Nombre de commandes par semaine	Nombre d'amendements Nombre de commandes par semaine	Nombre d'amendements Nombre de commandes par semaine	Nombre d'amendements Nombre de commandes par semaine
Augmentation du coût d'emballage	Quantité par emballage	Tous les facteurs	Quantité par emballage	Quantité par emballage Nombre de commandes par semaine
Augmentation du coût d'expédition	Nombre de commandes par semaine	Nombre de commandes par semaine	Nombre de commandes par semaine	Nombre de commandes par semaine

Tableau XXIII(suite)

Coût	Fournisseur 1	Fournisseur 2	Fournisseur 3	Fournisseur 4
Augmentation du coût d'inventaire	Valeur du produit	Valeur du produit	Valeur du produit	Valeur du produit
	Temps de mise en route	Temps de mise en route	Temps de mise en route	Temps de mise en route
Augmentation du coût de mise en route	Valeur du produit	Valeur du produit	Valeur du produit	Valeur du produit
	Temps de mise en route	Temps de mise en route	Temps de mise en route	Temps de mise en route
Augmentation du coût total	Valeur du produit*	Valeur du produit	Valeur du produit*	Valeur du produit*
	Temps de mise en route	Temps de mise en route	Temps de mise en route	Temps de mise en route
	Quantité par emballage	Quantité par emballage*	Nombre de commandes par semaine	Quantité par emballage*
	Nombre de commandes par semaine			

* Variables les plus importantes pour ces coûts

8.5.2 Coût total

Dans cette section, les résultats des analyses de variance pour les coûts totaux de chacun des fournisseurs (ANOVA) sont présentés. De plus, les graphiques des coûts totaux, incluant les valeurs des coûts totaux pour chaque niveau des facteurs significatifs sur le coût total sont présentés. Les résultats détaillés des coûts obtenus par test par fournisseur sont fournis à l'annexe D. Les graphiques ont été élaborés à l'aide des résultats obtenus des tests sur les moyennes de Newman-Keuls, qui sont fournis en annexe (annexe F). Les ANOVA et les graphiques sont présentés aux figures 17 à 24.

The SAS System					
16:10 Wednesday, January 8, 2003					
The ANOVA Procedure					
Class Level Information					
	Class	Levels	Values		
	PROD	3	1 2 3		
	AME	3	1 2 3		
	SU	3	1 2 3		
	EMB	3	1 2 3		
	COM	3	1 2 3		
Number of observations 27					
Dependent Variable: R					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	118989025780	11898902578	47.07	<.0001
Error	16	4044267434	252766714.63		
Corrected Total	26	123033293214			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	R Mean	
	0.967129	11.05036	15898.64	143874.3	
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
PROD	2	72314567576	36157283788	143.05	<.0001
AME	2	4380480000	2190240000	8.67	0.0028
SU	2	10285031078	5142515539	20.34	<.0001
EMB	2	18439972278	9219986139	36.48	<.0001
COM	2	13568974848	6784487424	26.84	<.0001

Figure 17. Anova coût total fournisseur 1

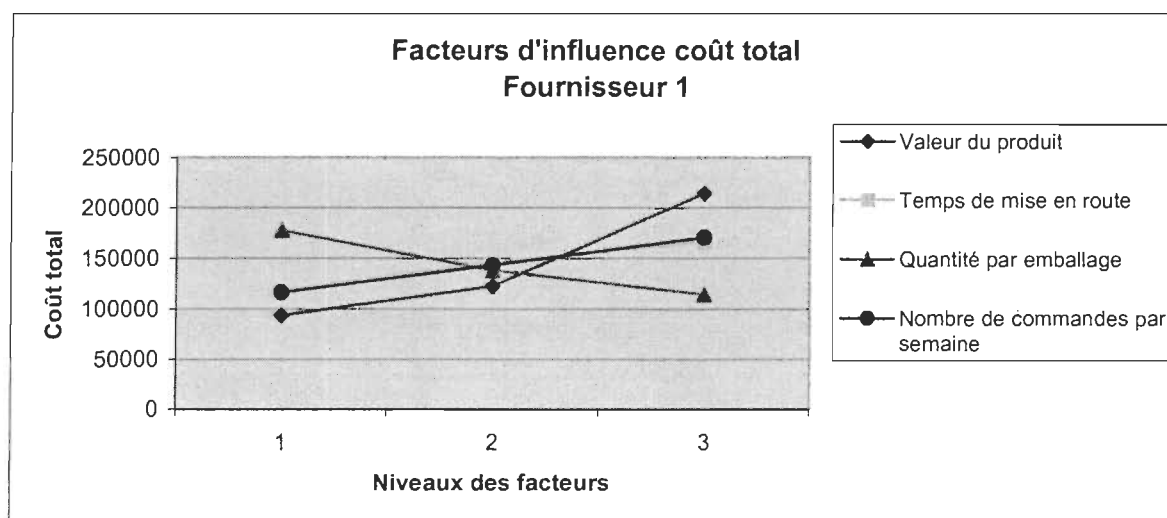


Figure 18. Coût global en fonction des niveaux des facteurs significatifs fournisseur 1

The SAS System					
11:04 Thursday, January 9, 2003					
The ANOVA Procedure					
Class Level Information					
	Class	Levels	Values		
	PROD	3	1 2 3		
	AME	3	1 2 3		
	SU	3	1 2 3		
	EMB	3	1 2 3		
	COM	3	1 2 3		
Number of observations		27			
Dependent Variable: R					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	5.750093E12	575009296602	215.86	<.0001
Error	16	42621329768	2663833110.5		
Corrected Total	26	5.7927143E12			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	R Mean	
	0.992642	8.425412	51612.33	612579.3	
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
PROD	2	1.1822791E12	591139526187	221.91	<.0001
AME	2	486720000	243360000	0.09	0.9132
SU	2	129104493698	64552246849	24.23	<.0001
EMB	2	4.4356925E12	2.2178463E12	832.58	<.0001
COM	2	2530165248	1265082624	0.47	0.6304

Figure 19. Anova coût total fournisseur 2

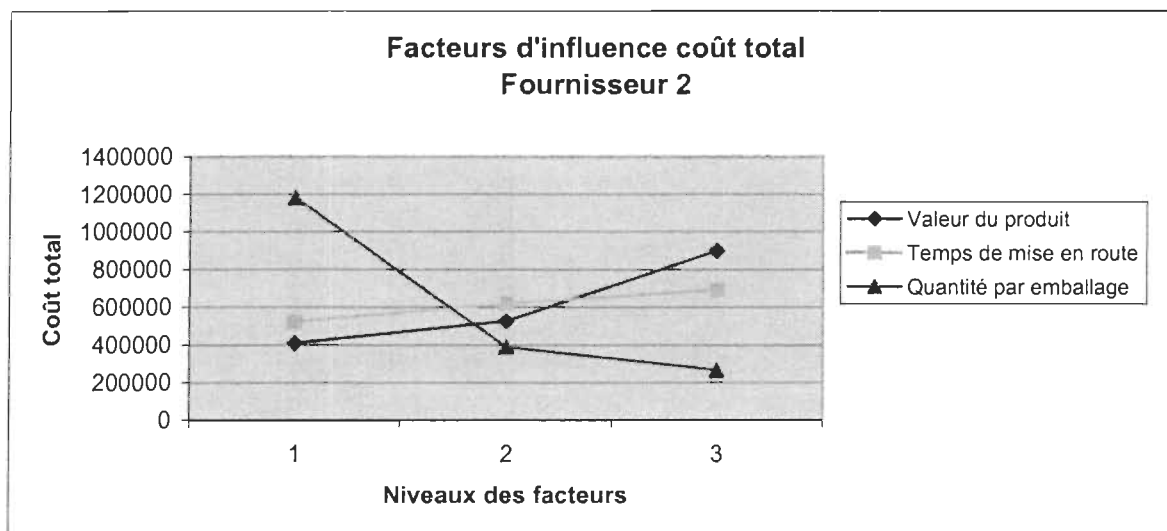


Figure 20. Coût global en fonction des niveaux des facteurs significatifs fournisseur 2

The SAS System						
11:12 Thursday, January 9, 2003						
The ANOVA Procedure						
Class Level Information						
Class	Levels	Values				
PROD	3	1 2 3				
AME	3	1 2 3				
SU	3	1 2 3				
EMB	3	1 2 3				
COM	3	1 2 3				
Number of observations 27						
Dependent Variable: R						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	10	123957737018	12395773702	65.07	<.0001	
Error	16	3047844504.7	190490281.54			
Corrected Total	26	127005581523				
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	R Mean		
	0.976002	9.651901	13801.82	142995.9		
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
PROD	2	84545391025	42272695512	221.92	<.0001	
AME	2	486720000	243360000	1.28	0.3057	
SU	2	9232434929	4616217464	24.23	<.0001	
EMB	2	4461626265	2230813132	11.71	0.0007	
COM	2	25231564800	12615782400	66.23	<.0001	

Figure 21. Anova coût total fournisseur 3

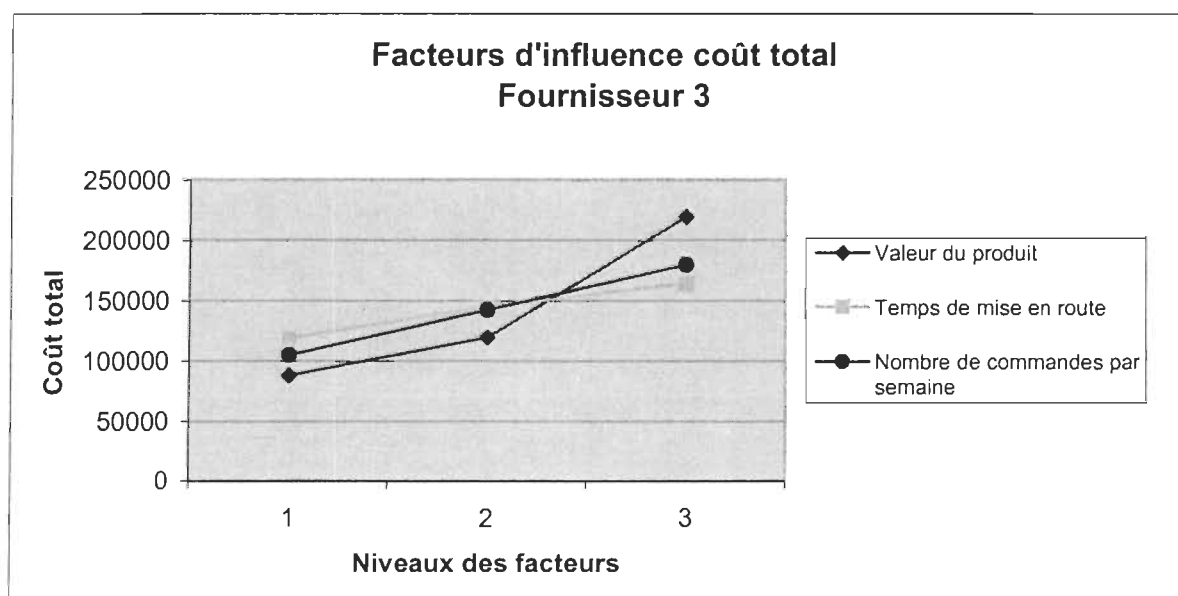


Figure 22. Coût global en fonction des niveaux des facteurs significatifs fournisseur 3

The SAS System					
11:19 Thursday, January 9, 2003					
The ANOVA Procedure					
Class Level Information					
Class		Levels	Values		
PROD		3	1	2	3
AME		3	1	2	3
SU		3	1	2	3
EMB		3	1	2	3
COM		3	1	2	3
Number of observations 27					
Dependent Variable: R					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	918159845908	91815984591	117.95	<.0001
Error	16	12454665818	778416613.63		
Corrected Total	26	930614511726			
R-Square		Coeff Var	Root MSE	R Mean	
0.986617		6.575921	27900.12	424277.0	
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
PROD	2	529663044246	264831522123	340.22	<.0001
AME	2	486720000	243360000	0.31	0.7359
SU	2	37725920054	18862960027	24.23	<.0001
EMB	2	343976270408	171988135204	220.95	<.0001
COM	2	6307891200	3153945600	4.05	0.0377

Figure 23. Anova coût total fournisseur 4

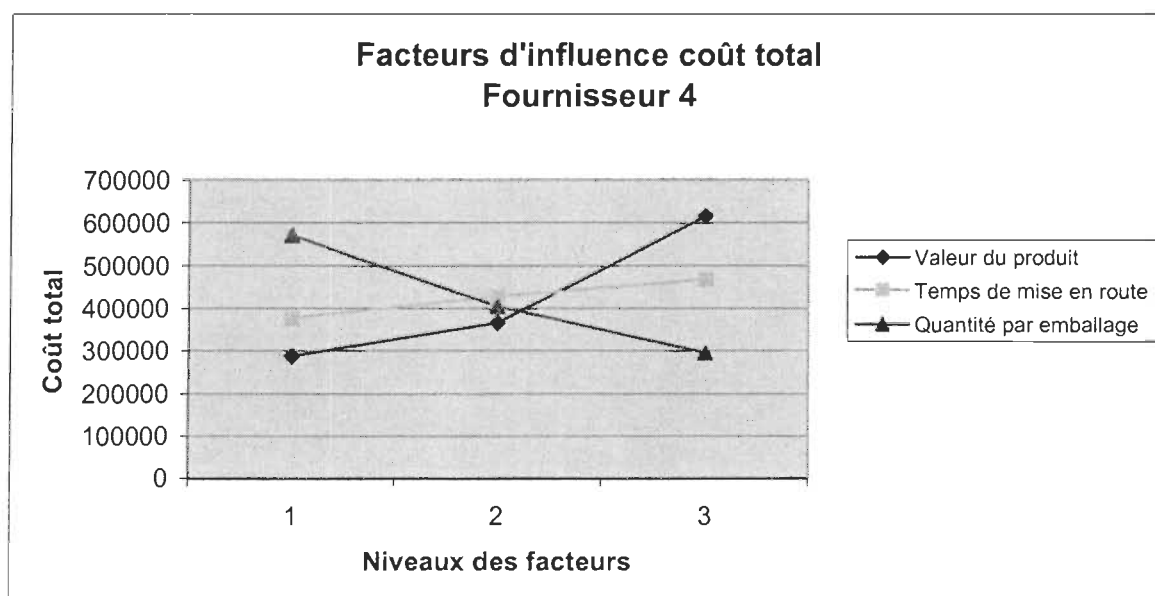


Figure 24. Coût global en fonction des niveaux des facteurs d'influence fournisseur 4

8.6 Interprétation des résultats

Dans cette section, une discussion des facteurs et des coûts les plus importants sera faite. Les observations proviennent des figures présentées à la section précédente.

D'abord, il importe de souligner que les coefficients de détermination pour chacun des tests sont élevés (de 96 à 99%), ce qui signifie que la variation dans les réponses expliquées par le modèle est de 96 à 99 %. Le reste (de 1 à 4%) est associé à l'erreur (pour un degré de confiance de 95%).

Pour ce qui est du fournisseur 1, les coûts représentant la plus grande part des coûts totaux sont ceux de mise en route, d'emballage et de commande. Tous les facteurs influencent ces trois coûts. Par contre, lors de l'étude du coût total, on peut déceler que le facteur amendement est moins influent, tandis que la valeur du produit l'est plus.

Pour le fournisseur 2, les coûts les plus importants se trouvent au niveau des coûts de mise en route et d'emballage. Dans certains cas, les coûts d'emballage représentent plus de 90% du coût total. Ce coût élevé d'emballage est présent lorsque le test est fait pour une quantité par emballage faible (30) et que la valeur du produit est faible, ce qui n'est jamais le cas dans la réalité⁶. Pour ce qui est du coût de mise en route, les facteurs influents sont la valeur du produit et le temps de mise en route. La valeur du produit influence la taille de lots, plus la valeur est basse, plus le lot sera grand et plus le nombre de mises en route à effectuer sera bas, ce qui réduit les coûts de mise en route. Pour le coût total, la quantité par emballage est la variable la plus significative.

Le fournisseur 3, de son côté, a des coûts de commandes et de mise en route élevés. Par contre, pour ce fournisseur, il importe de souligner que le coût par

⁶ En réalité, lorsque le produit est emballé par petites quantités, la valeur du produit est élevée.

commande est très élevé par rapport aux autres fournisseurs de l'étude. Aussi, ce coût de commande est grandement affecté par le nombre de commandes par semaine ainsi que par le nombre d'amendements. Le coût total est par contre très influencé par la valeur du produit. Lorsque celui-ci est élevé, le coût augmente de façon considérable.

D'un autre côté, le fournisseur 4 a des coûts d'emballage et de mise en route plus élevés. Pour ce qui est de l'emballage, la quantité par emballage et le nombre de commandes par semaine sont significatifs. Par contre, du côté du coût de mise en route, les facteurs temps de mise en route et valeur du produit sont les plus importants. D'ailleurs, dans le coût total, la valeur du produit ainsi que la quantité par emballage sont les plus significatifs. Le temps de mise en route est aussi une variable ayant un effet significatif, mais un peu moins que les autres variables.

8.7 Conclusion

En conclusion, les facteurs qui influencent le coût total des différents fournisseurs sont souvent les mêmes : valeur du produit, temps de mise en route, quantité par emballage et nombre de commandes par semaine. Ces facteurs seront utilisés pour la prochaine partie de la recherche : l'analyse du système global.

CHAPITRE 9

SIMULATION GLOBALE

Comme mentionné plus tôt, le deuxième bloc de l'étude quantitative consiste à l'analyse globale du système. Pour ce faire, une simulation du système sera effectuée. Cette partie servira surtout à comparer trois types de systèmes logistiques reliant les fournisseurs de niveau 1 au donneur d'ordres. Les trois systèmes sont décrits à la section 9.1. La comparaison de ces systèmes se fera sur les coûts globaux encourus et les facteurs utilisés seront ceux obtenus dans le design expérimental présenté au chapitre 8. Par la suite, des recommandations pourront être émises sur les systèmes à utiliser selon les divers contextes.

9.1 Systèmes à l'étude

9.1.1 Système de tournée de véhicules

Le système de tournée de véhicules est celui actuellement utilisé par le donneur d'ordres avec les fournisseurs faisant partie de l'étude actuelle. Ce système est présenté à la figure 25. La fréquence de livraison est journalière, 5 jours par semaine. Les fournisseurs envoient une quantité égale à la commande du client. La distance parcourue est donc la même à chaque jour. Ici, l'hypothèse est que le transporteur part et revient au même point (chez le donneur d'ordres), même si ce n'est pas toujours le cas dans la réalité (à l'occasion, il partira des installations du transporteur, ou d'un autre emplacement).

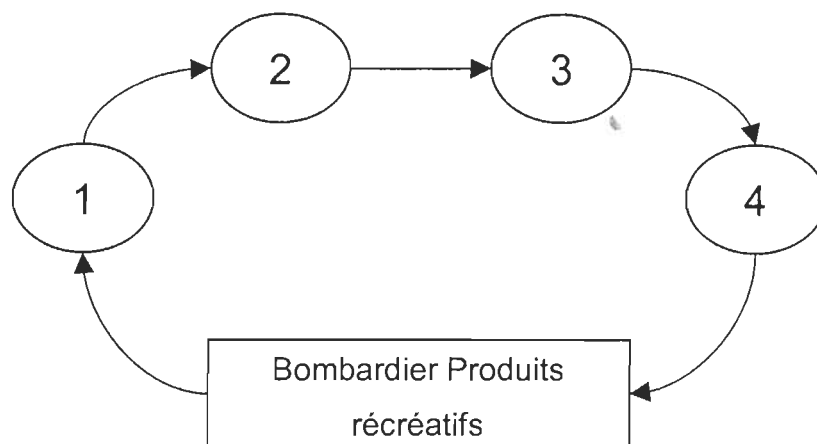


Figure 25. Système de tournée de véhicules

9.1.2 Système de transports directs

Ce type de système est utilisé par le donneur d'ordres avec plusieurs de ses fournisseurs. Il consiste en des transports directs entre les fournisseurs et le client. Les livraisons sont effectuées lorsque le lot de production est terminé. Le lot est équivalent au lot économique fabriqué par le fournisseur. La figure 26 illustre ce type de système.

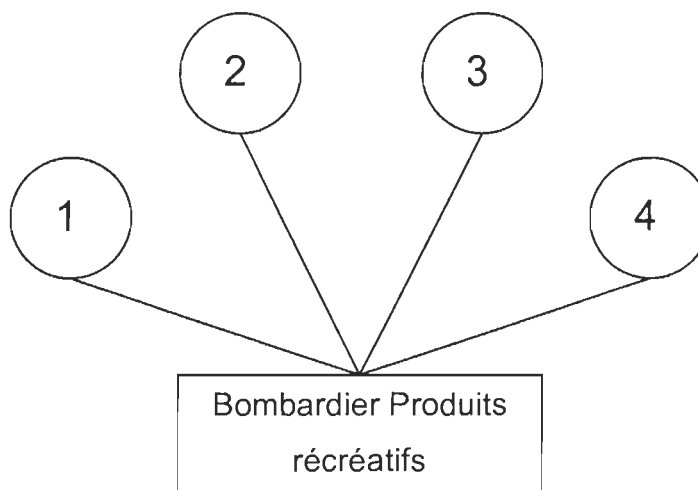


Figure 26. Système avec transports directs

9.1.3 Système avec entrepôt de distribution

Ce type de système est actuellement peu utilisé par le donneur d'ordres et ses fournisseurs. Par contre, il est envisagé. Le système consiste en des livraisons vers un entrepôt où un tri et un séquençage est établi pour être livré au donneur d'ordres. Ce type de système est illustré à la figure 27. Les lots livrés des fournisseurs vers l'entrepôt correspondent aux lots économiques fabriqués par les fournisseurs et les lots sont livrés tous les jours de l'entrepôt au donneur d'ordres.

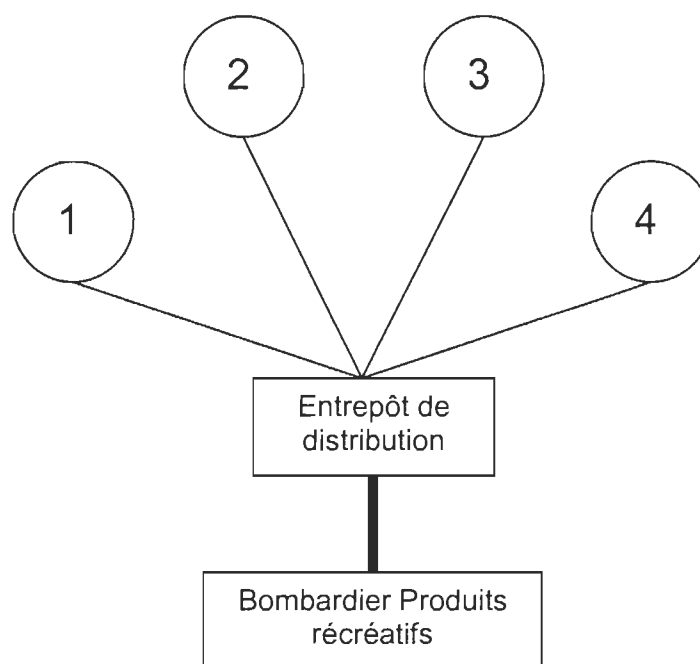


Figure 27. Système avec entrepôt de distribution

9.2 Coûts

Les coûts étudiés seront : coût de commande, coût d'emballage, coût d'expédition, coût d'inventaire, coût de mise en route et coût de transport. Pour ce qui est du coût d'inventaire, les coûts seront ceux du fournisseur, du donneur d'ordres et de l'entrepôt, s'il y a lieu. Pour le système avec entrepôt de distribution, le coût d'expédition, incluant le coût de transfert des pièces d'un

emballage à un autre sera ajouté. La comparaison des trois systèmes se fera sur le coût total qui inclut tous les coûts mentionnés ci-haut.

9.3 Facteurs

Les facteurs seront utilisés séparément pour chaque fournisseur et seront ceux obtenus du design expérimental. Ces facteurs seront : la valeur du produit, le nombre de commandes par semaine, le temps de mise en route et la quantité par emballage. Malgré les résultats obtenus pour le facteur amendement, nous l'utiliserons tout de même pour voir son effet, même s'il n'a pas été considéré comme ayant un impact majeur dans les expériences précédentes. Pour ce qui est du nombre de commandes par semaine, il changera selon le système utilisé, il ne sera donc pas inclus dans la liste des variables indépendantes.

9.4 Design expérimental

Pour connaître les facteurs significatifs et obtenir des résultats par des tests statistiques, un design expérimental sera utilisé. Une variable dépendante et 13 variables indépendantes, correspondantes aux facteurs mentionnés ci-dessus, seront étudiées. La liste des variables indépendantes est donnée au tableau XXIV.

Tableau XXIV

Variables indépendantes pour le design global

Variable
Valeur du produit fournisseur 1
Temps de mise en route fournisseur 1
Quantité par emballage fournisseur 1
Valeur du produit fournisseur 2
Temps de mise en route fournisseur 2
Quantité par emballage fournisseur 2
Valeur du produit fournisseur 3
Temps de mise en route fournisseur 3
Quantité par emballage fournisseur 3
Valeur du produit fournisseur 4
Temps de mise en route fournisseur 4
Quantité par emballage fournisseur 4
Facteur amendement

Pour chacune des variables, il a été décidé de fixer deux niveaux. Comme dans les designs expérimentaux du chapitre 8, un tableau des valeurs incluant certaines constantes par entreprise et par produit a été utilisé pour faire les calculs de coûts.

Puisqu'il permet d'étudier les 13 variables indépendantes, un plan L32 sera utilisé. Ce plan est à deux niveaux, ce qui est suffisant dans notre cas puisque toutes les relations entre la réponse et les calculs sont linéaires. Ce plan, sous forme de tableau, ainsi que le graphique linéaire utilisé sont présentés à l'annexe G. Aucune interaction ne sera considérée dans la première passe. Par contre, certaines interactions pourront être analysées, ce qui implique que la conception du test est importante afin de laisser les espaces prévus pour une analyse de ces interactions. Une observation par cellule d'expérience sera prise pour un total de

32 expériences. Un plan d'expérience par type de système sera effectué. Puisque les expériences peuvent être faites dans n'importe quel ordre (elles ne sont pas influencées les unes par rapport aux autres), les informations seront prises dans l'ordre dans lequel le plan L32 le propose.

Pour obtenir les coûts, la simulation a été effectuée pour une période de 1 an sur des feuilles de calcul du tableur « Excel ». Les formules utilisées pour calculer les coûts sont présentées à l'annexe H. Un exemple de feuilles utilisées est présenté pour chaque type de système à l'annexe I.

Dans le design expérimental, une analyse de variance (ANOVA) ainsi que les tests de Newman-Keuls seront effectués pour voir quels facteurs ont un effet significatif. Dans ces tests, les données étudiées ont été uniquement les coûts totaux du système. Ces tests ont été effectués avec SAS. Dans l'annexe J, les détails des programmes entrés dans SAS sont fournis pour chaque type de système.

9.5 Résultats

Les résultats détaillés sont présentés à l'annexe K.

9.5.1 Résultats par fournisseur

Pour chacun des fournisseurs, il a été possible de voir dans quels cas les coûts pour ceux-ci sont moindres. Pour tous les fournisseurs, les résultats sont les mêmes : les coûts pour la tournée de véhicules sont de 5 à 12 % plus élevés que pour les deux autres types de système. Aussi, les coûts les moins élevés pour les fournisseurs sont dans les cas où la valeur de produit est basse, le temps de mise en route est court, la quantité par emballage est élevée et le facteur amendement est bas. Globalement, le fournisseur 1 semble avoir un coût global moins élevé que les autres, tandis que le fournisseur 4 a les coûts les plus élevés.

9.5.2 Résultats globaux

D'un point de vue global, il est possible de voir le système le moins dispendieux selon le contexte. Entre autres, le coût global pour chaque test du design expérimental sera plus ou moins élevé selon le système utilisé. Le tableau XXV donne les systèmes les plus et les moins dispendieux pour chaque test effectué.

Tableau XXV

Systèmes les plus et moins dispendieux par test

No.Test	Plus cher	Moins cher	No.Test	Plus cher	Moins cher
1	Tournée	Direct	17	Tournée	Direct
2	Entrepôt	Tournée	18	Entrepôt	Direct
3	Entrepôt	Direct	19	Entrepôt	Tournée
4	Entrepôt	Tournée	20	Entrepôt	Tournée
5	Tournée	Direct	21	Tournée	Direct
6	Entrepôt	Direct	22	Entrepôt	Tournée
7	Entrepôt	Tournée	23	Entrepôt	Direct
8	Entrepôt	Tournée	24	Entrepôt	Tournée
9	Entrepôt	Direct	25	Entrepôt	Direct
10	Tournée	Direct	26	Tournée	Direct
11	Entrepôt	Tournée	27	Entrepôt	Tournée
12	Entrepôt	Tournée	28	Entrepôt	Direct
13	Entrepôt	Direct	29	Entrepôt	Tournée
14	Tournée	Direct	30	Tournée	Direct
15	Entrepôt	Tournée	31	Entrepôt	Tournée
16	Entrepôt	Direct	32	Entrepôt	Tournée

D'un autre côté, il est possible de constater les conditions dans lesquelles chaque type de système est le moins dispendieux. La tournée de véhicules s'avère la moins dispendieuse dans 15 des 32 tests effectués. Si l'examen de ces tests est effectué, 2 facteurs demeurent au même niveau pour l'atteinte d'un coût peu

élevé : lorsque les produits des fournisseurs 2 et 4 ont une valeur élevée. Le système avec transports directs est, dans 17 tests sur 32, le système le moins dispendieux. De plus, ce résultat se répète à maintes reprises pour des valeurs de produits basses pour les fournisseurs 2 et 4. Par contre, le système avec entrepôt de distribution n'est jamais le moins dispendieux.

9.5.3 Résultats des tests statistiques

Les résultats des tests statistiques sont ceux obtenus par l'analyse de variances et les tests de Newman-Keuls. Les figures 28 à 33 présentent les résultats obtenus des analyses de variances (de SAS) ainsi que les graphiques des coûts totaux en fonction des niveaux des facteurs significatifs. Les résultats sont présentés pour chacun des systèmes. L'annexe L présente les résultats des tests de Newman-Keuls qui ont été utilisés pour tracer les graphiques.

The SAS System					
16:50 Wednesday, January 29, 2003					
The ANOVA Procedure					
Class Level Information					
Class	Levels	Values			
PROD1	2	1 2			
SU1	2	1 2			
EMB1	2	1 2			
PROD2	2	1 2			
SU2	2	1 2			
EMB2	2	1 2			
PROD3	2	1 2			
SU3	2	1 2			
EMB3	2	1 2			
PROD4	2	1 2			
SU4	2	1 2			
EMB4	2	1 2			
AME	2	1 2			
Number of observations 32					
Dependent Variable: R					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	13	1.2934644E13	994972650127	44.92	<.0001
Error	18	398671318978	22148406610		
Corrected Total	31	1.3333316E13			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	R Mean	
	0.970100	5.260763	148823.4	2828932	
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
PROD1	1	40593264778	40593264778	1.83	0.1926
SU1	1	106514310.13	106514310.13	0.00	0.9455
EMB1	1	74143110660	74143110660	3.35	0.0839
PROD2	1	1.5265199E12	1.5265199E12	68.92	<.0001
SU2	1	222339126482	222339126482	10.04	0.0053
EMB2	1	4.573289E12	4.573289E12	206.48	<.0001
PROD3	1	23740749753	23740749753	1.07	0.3142
SU3	1	6338704418	6338704418	0.29	0.5992
EMB3	1	375004846481	375004846481	16.93	0.0007
PROD4	1	956256681516	956256681516	43.17	<.0001
SU4	1	80726843485	80726843485	3.64	0.0723
EMB4	1	72750525458	72750525458	3.28	0.0866
AME	1	4.9828352E12	4.9828352E12	224.97	<.0001

Figure 28. Résultat Anova tournée de véhicules

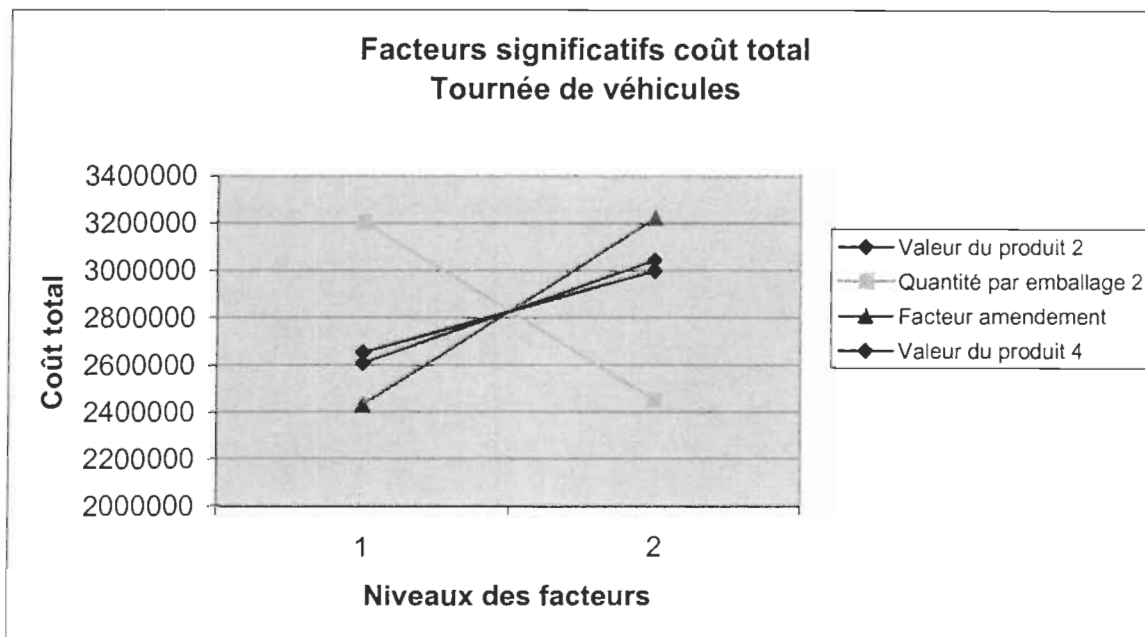


Figure 29. Coût total en fonction des niveaux des variables significatives pour la tournée de véhicules

The SAS System					
16:42 Wednesday, January 29, 2003					
The ANOVA Procedure					
Class Level Information					
Class		Levels	Values		
PROD1		2	1 2		
SU1		2	1 2		
EMB1		2	1 2		
PROD2		2	1 2		
SU2		2	1 2		
EMB2		2	1 2		
PROD3		2	1 2		
SU3		2	1 2		
EMB3		2	1 2		
PROD4		2	1 2		
SU4		2	1 2		
EMB4		2	1 2		
AME		2	1 2		
Number of observations 32					
Dependent Variable: R					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	13	1.6188448E13	1.2452653E12	220.87	<.0001
Error	18	101485436854	5638079825.2		
Corrected Total	31	1.6289934E13			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	R Mean	
	0.993770	2.655629	75087.15	2827471	
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
PROD1	1	63767257920	63767257920	11.31	0.0035
SU1	1	347273246.53	347273246.53	0.06	0.8068
EMB1	1	106283205463	106283205463	18.85	0.0004
PROD2	1	3.2192381E12	3.2192381E12	570.98	<.0001
SU2	1	102089294626	102089294626	18.11	0.0005
EMB2	1	4.8059293E12	4.8059293E12	852.41	<.0001
PROD3	1	69659927454	69659927454	12.36	0.0025
SU3	1	9470492344.5	9470492344.5	1.68	0.2113
EMB3	1	443681764500	443681764500	78.69	<.0001
PROD4	1	1.992267E12	1.992267E12	353.36	<.0001
SU4	1	45554975629	45554975629	8.08	0.0108
EMB4	1	104614355466	104614355466	18.55	0.0004
AME	1	5.2255456E12	5.2255456E12	926.83	<.0001

Figure 30. Résultat Anova transports directs

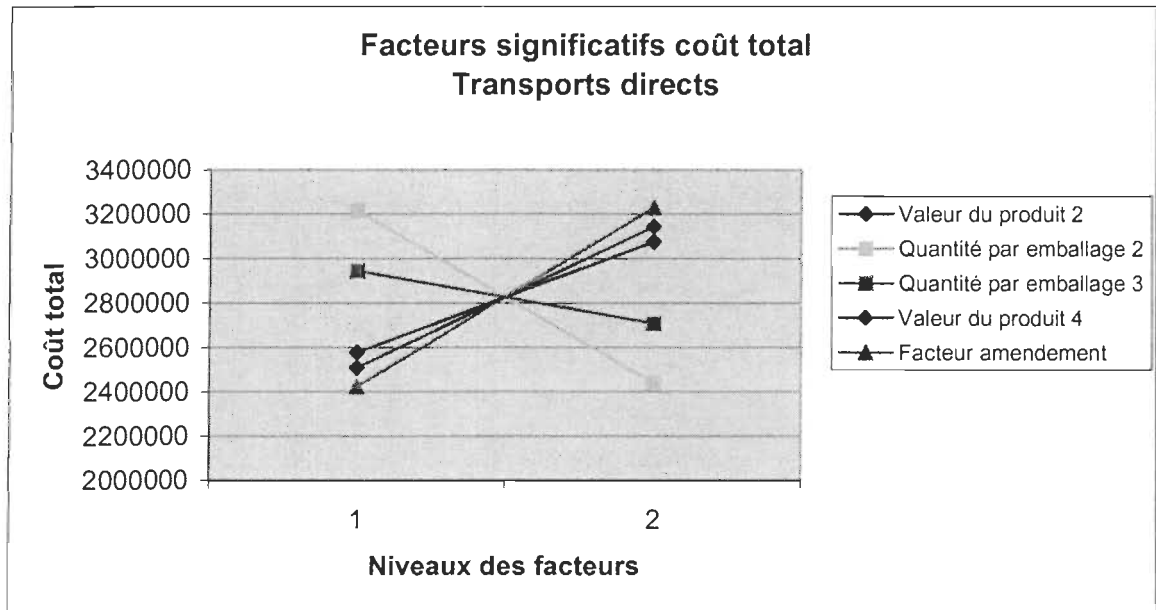


Figure 31. Coût total en fonction des niveaux des variables significatives pour la tournée de véhicules

The SAS System					
16:45 Wednesday, January 29, 2003					
The ANOVA Procedure					
Class Level Information					
Class		Levels	Values		
PROD1		2	1 2		
SU1		2	1 2		
EMB1		2	1 2		
PROD2		2	1 2		
SU2		2	1 2		
EMB2		2	1 2		
PROD3		2	1 2		
SU3		2	1 2		
EMB3		2	1 2		
PROD4		2	1 2		
SU4		2	1 2		
EMB4		2	1 2		
AME		2	1 2		
Number of observations 32					
Dependent Variable: R					
Source	DF	Sum of Squares		Mean Square	F Value Pr > F
Model	13	1.6823337E13		1.2941028E12	309.28 <.0001
Error	18	75316067008 4184225944.9			
Corrected Total	31	1.6898653E13			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	R Mean	
	0.995543	2.185844	64685.59	2959296	
Source	DF	Anova SS		Mean Square	F Value Pr > F
PROD1	1	63767168640		63767168640	15.24 0.0010
SU1	1	347266658		347266658	0.08 0.7766
EMB1	1	106282859676		106282859676	25.40 <.0001
PROD2	1	3.6216219E12		3.6216219E12	865.54 <.0001
SU2	1	75721196168		75721196168	18.10 0.0005
EMB2	1	4.80593E12		4.80593E12	1148.58 <.0001
PROD3	1	82552440781		82552440781	19.73 0.0003
SU3	1	6774829204.5		6774829204.5	1.62 0.2194
EMB3	1	443681529000		443681529000	106.04 <.0001
PROD4	1	2.2525806E12		2.2525806E12	538.35 <.0001
SU4	1	33916710576		33916710576	8.11 0.0107
EMB4	1	104614012405		104614012405	25.00 <.0001
AME	1	5.2255464E12		5.2255464E12	1248.87 <.0001

Figure 32. Résultat Anova entrepôt de distribution

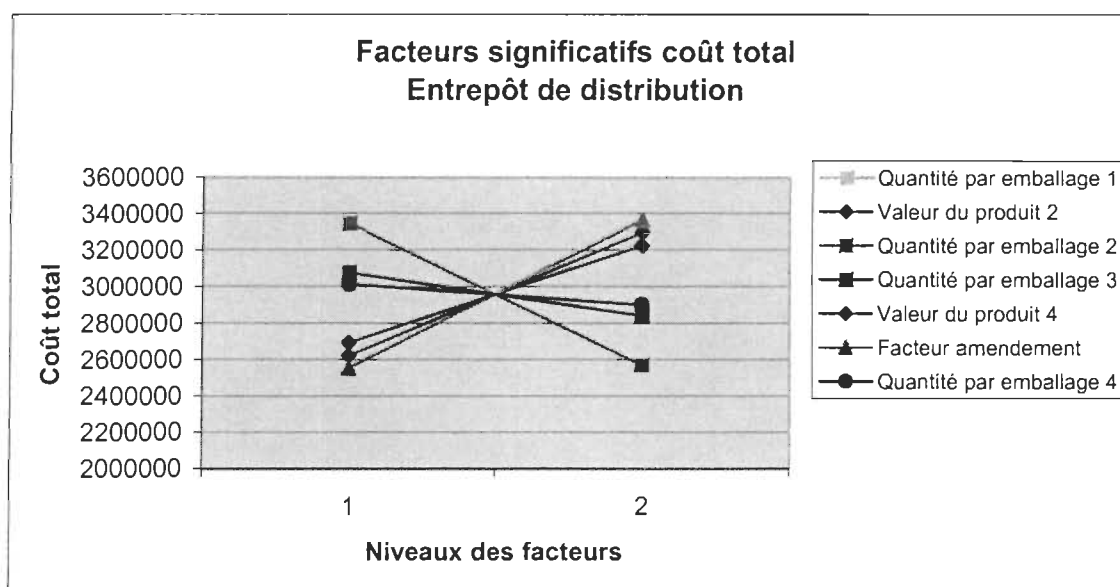


Figure 33. Coût total en fonction des niveaux des variables significatives pour la tournée de véhicules

De la compilation des résultats obtenus avec les analyses de variances, les variables ayant un effet significatif sont trouvées et elles sont présentées au tableau XXVI.

Tableau XXVI

Variables ayant un impact significatif sur le coût total selon le type de systèmes

Type de systèmes	Variables significatives
Tournée de véhicules	Valeur du produit 2 Quantité par emballage produit 2 Valeur du produit 4 Facteur amendement
Transports directs	Valeur du produit 2 Quantité par emballage produit 2 Quantité par emballage produit 3 Valeur du produit 4 Facteur amendement
Entrepôt de distribution	Quantité par emballage produit 1 Valeur du produit 2 Quantité par emballage produit 2 Quantité par emballage produit 3 Valeur du produit 4 Quantité par emballage produit 4 Facteur amendement

9.6 Interprétation

9.6.1 Interprétation des résultats par fournisseur

L'examen des résultats par fournisseur nous indique que la tournée entraîne généralement plus de dépenses pour les fournisseurs que lors de l'utilisation des autres systèmes. Cette différence est due au fait que le coût d'inventaire, lors de la tournée, est supporté par les fournisseurs. De plus, dans les systèmes avec transports directs ou entrepôt de distribution, les livraisons sont effectuées pour des lots économiques, qui sont beaucoup plus grands que les lots demandés. Ceci représente moins d'expéditions et de facturations, ce qui apporte une réduction des coûts pour ces deux types de systèmes.

De plus, la différence entre les coûts totaux des divers fournisseurs est due à la quantité totale commandée par an et aux nombres de commandes par an qui diffèrent par fournisseur. Par exemple, la quantité totale est beaucoup plus élevée pour le fournisseur 4 que pour les autres. Cette quantité élevée de pièces peu dispendieuses augmente le nombre de manipulations et les coûts pour ce

fournisseur, ce qui impliquera que les coûts fixes par pièces seront augmentés pour celui-ci. De plus, les coûts d'inventaire et la quantité totale commandée par an sont plus bas pour le fournisseur 1, ce qui provoque une baisse du coût total pour celui-ci.

9.6.2 Interprétation des résultats globaux

Comme mentionné plus tôt, les résultats globaux obtenus prouvent que le système avec entrepôt de distribution est le plus dispendieux. Par contre, selon les conditions du système, les systèmes de tournée et avec transports directs seront moins dispendieux.

Puisque certaines variables ont un effet significatif sur le coût global, il importe de donner un aperçu des coûts engendrés pour chacun des niveaux de ces variables.

D'abord, lorsque la valeur des produits des fournisseurs 2 et 4 est basse, le système avec transports directs sera moins dispendieux. Ceci est dû au fait que lors du calcul de la taille des lots, la valeur du produit est au dénominateur⁷, ce qui augmente la taille des lots lors d'une baisse de la valeur. De ce fait, le nombre de transports à effectuer sera plus bas et le coût du système avec transports directs sera également plus bas. D'un autre côté, une valeur de produit élevée correspondra à une taille des lots plus basse et le système avec transports directs deviendra plus dispendieux.

Ensuite, la quantité par emballage pour les produits des fournisseurs 2 et 3 a un effet significatif sur les coûts globaux. En effet, lorsque les quantités par emballage sont élevées, les coûts d'emballage diminuent. Pour ce qui est de ces deux fournisseurs, la différence entre les deux niveaux testés est élevée, ce qui

⁷ Voir annexe H pour les détails des calculs

entraîne une influence plus grande de ce facteur comparativement aux autres fournisseurs.

Puis, le facteur amendement a aussi une influence significative sur les coûts globaux. Il est évident que lorsque celui-ci est élevé, peu importe le système, le coût sera plus élevé de façon significative. De plus, pour le fournisseur 4, la différence est très importante, car ce fournisseur a plus de commandes et plus de produits différents. Le facteur amendement multipliant le nombre de manipulations de commandes, il aura un effet plus grand sur ce fournisseur.

Finalement, d'une façon moins significative, le temps de mise en route du fournisseur 2 influence le coût global des trois systèmes. Pour les autres fournisseurs, ce temps est moins significatif. Lorsque ce temps est bas, la taille des lots est aussi basse, ce qui signifie que plus de transports seront nécessaires dans le système avec transports directs. La tournée de véhicules ne sera pas affectée.

CHAPITRE 10

RECOMMANDATIONS ET CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans cette section, une série de recommandations ainsi qu'une conclusion générale seront émises pour faciliter la gestion de la logistique entre les fournisseurs et le donneur d'ordres dans le but d'atteindre l'agilité du réseau.

10.1 Recommandations

10.1.1 Recommandations pour le donneur d'ordres

Afin d'optimiser le système PID, certaines actions seront privilégiées. Ces actions sont formulées sous forme de recommandations et sont présentées au tableau XXVII.

Tableau XXVII
Recommandations pour le donneur d'ordres

But ou objectif	Recommandation
Diminuer, voire éliminer les amendements et les changements de dernière minute chez les fournisseurs	<ul style="list-style-type: none">• Stabiliser la demande pour une période fixe (par exemple, 24 heures avant la commande, aucune modification acceptée)• Stabiliser le design, standardiser des pièces• Revoir les politiques d'envoi d'amendements• Revoir le système de planification (par exemple, émettre des commandes journalières pour les premières semaines, par semaine pour les semaines plus éloignées et par mois pour les mois plus éloignés)• Revoir le système de prévision
Diminuer les coûts de manipulation des commandes	<ul style="list-style-type: none">• Implanter un système d'échange de données par informatique entre le donneur d'ordres et ses fournisseurs (business to business)• Revoir la pertinence des envois de commandes pour les périodes très éloignées dans le temps

Tableau XXVII (suite)

But ou objectif	Recommandation
Diminuer les coûts reliés au transport	<ul style="list-style-type: none"> • Instaurer un lot économique pour les fournisseurs de niveau 1 et 2 et BBD • Faire une analyse ABC et déterminer les fréquences optimales par types de produits • Établir des formats d'emballage standards et optimaux • Instaurer un système d'information « en ligne » pour le camionneur, les fournisseurs et Bombardier. • Utiliser le calcul des coûts globaux pour le choix des méthodes de transports à privilégier
Préparer adéquatement le réseau avant l'implantation de pratiques agiles	<ul style="list-style-type: none"> • Établir une liste des critères de succès de l'implantation d'un système logistique agile et en discuter avec les fournisseurs avant l'implantation⁸ • Élaborer et implanter un programme de préparation et d'amélioration des fournisseurs de niveau 2 pour des livraisons plus fréquentes

10.1.2 Recommandations pour les fournisseurs

Certaines actions devront être effectuées par les fournisseurs pour atteindre l'agilité du réseau. Ces actions recommandées sont présentées au tableau XXVIII.

⁸ Cette liste peut se baser en partie sur les recommandations faites aux fournisseurs, à la section 10.1.2.

Tableau XXVIII

Recommandations pour les fournisseurs

But	Recommandation
Augmenter la flexibilité et l'agilité de l'entreprise fournisseur	Réduire la taille des lots par la réduction des temps de mise en course (par des études SMED) Adopter une philosophie et des techniques reliées à la PVA (production à valeur ajoutée) Instaurer un système d'amélioration continue Travailler de concert avec les fournisseurs et sous-traitants de niveau 2 pour améliorer les relations, établir des relations long terme et/ou des partenariats stratégiques Documenter les temps de production et de mise en course Optimiser l'utilisation du système de planification en place ou le modifier
Réduire les rejets	Instaurer des contrôles à chaque étape de fabrication Réduire les temps d'inspection Revoir les procédures d'inspection pour les adapter à des systèmes incluant des livraisons plus fréquentes
Diminuer les coûts liés aux manipulations	Revoir le système de facturation en collaboration avec le donneur d'ordres Diminuer les coûts par commande Revoir le système de gestion des commandes Revoir les systèmes d'emballage

10.2 Conclusion générale

Suite à cette recherche, il est possible de tirer les conclusions suivantes :

- L'utilisation d'une tournée de véhicules peut s'avérer, du point de vue du coût global, judicieuse dans le cas de certains produits, mais s'avère plus dispendieuse pour les fournisseurs.
- L'utilisation des transports directs pour des produits de faible valeur est plus appropriée
- L'utilisation d'un entrepôt de distribution n'est pas économique dans le cas étudié actuellement, mais pourrait s'avérer pertinent dans le cas de réseaux de fournisseurs éloignés.

Certaines recommandations globales peuvent aussi être faites. Celles-ci permettront au donneur d'ordres, ainsi qu'à ses fournisseurs, de pouvoir utiliser adéquatement le système approprié pour chaque situation :

- Optimiser la tournée en ce qui a trait aux chargements, au trajet et aux types de produits à y inclure devrait être effectuée. Si le produit a une valeur faible (moins de 1\$), on doit plutôt utiliser un système avec transports directs.
- Faire l'analyse du système d'une façon globale et systémique avant d'implanter un nouveau type de système de transport permettrait au réseau d'être plus efficace au niveau des coûts, ce qui permettrait une réduction du coût du produit, à long terme.
- Étudier le cas des contenants retournables. Entre autres, certains fournisseurs n'ont pas les infrastructures nécessaires pour accueillir des camions avec ouvertures de côté.
- Revoir la taille des lots en fonction des temps de mise en route, des distances et du procédé de sous-traitance ou des fournisseurs de matières premières de niveau 2; ceci est nécessaire pour diminuer les coûts globaux du système.
- Étudier les cas dans lesquels l'utilisation de l'entrepôt de distribution pourrait être la solution optimale. Entre autres, l'entrepôt pourrait s'avérer une solution efficace dans le cas de fournisseurs éloignés, de produits à faible valeur, de temps de mise en course longs. Elle pourrait agir à titre d'amortisseur pour ces types de situations.

CONCLUSION

L'objectif de cette recherche était d'étudier une chaîne logistique afin de recommander les pratiques logistiques à privilégier dans un contexte de demande imprévisible et changeante. Globalement, la problématique est d'atteindre l'agilité du réseau d'entreprises pour satisfaire les demandes des clients. Dans une perspective plus spécifique, un système de production-inventaire-distribution (PID) entre un donneur d'ordres et ses fournisseurs de premier niveau devait être analysé. D'ailleurs, un cas réel a été regardé. Dans un premier temps, une tournée de véhicules actuellement pratiquée a été analysée de façon à sortir les facteurs significatifs qualitatifs et quantitatifs. Par la suite, une comparaison de cette pratique avec deux autres pratiques logistiques a été faite.

Afin d'analyser la situation actuelle, un modèle mathématique a d'abord été conçu. Par la suite, pour étudier les facteurs qualitatifs, une étude de la chaîne de valeur du système PID utilisant une tournée de véhicules a été effectuée. Ensuite, deux études quantitatives ont été faites; l'une portant sur les coûts actuels des fournisseurs dans l'utilisation d'une tournée de véhicules et l'autre sur la comparaison des coûts globaux engendrés par trois pratiques logistiques.

Les résultats attendus par cette recherche consistaient en des recommandations pour optimiser le réseau d'une grande entreprise. L'objectif a donc été atteint : des recommandations pour les fournisseurs ainsi que pour le donneur d'ordres ont été établies et pourront être mises en place par les parties concernées. Entre autres, la pratique de la tournée de véhicules provoque une augmentation de l'inventaire chez les fournisseurs, ce qui encourage ces derniers à améliorer leur système de production et le rendre plus flexible. Par exemple, l'utilisation des principes de la production à valeur ajoutée et des solutions

concrètes pour améliorer leurs relations avec leurs fournisseurs et sous-traitants sera nécessaire car l'influence de ces variables est non-négligeable sur le temps de cycle et les coûts pour la chaîne logistique.

Par contre, les fournisseurs font face à certains coûts additionnels qui s'ajoutent tels que des coûts d'emballage supplémentaires, des coûts de mise en inventaire de produits finis, des coûts de manipulations des commandes, etc.

Du point de vue du donneur d'ordres, il sera nécessaire d'analyser chaque situation, voire chaque fournisseur et chaque type de produit, avant de déterminer la pratique logistique à utiliser pour chaque cas. Une analyse des coûts globaux sera donc nécessaire avant la prise de décision.

D'une façon plus globale, la pratique de la tournée de véhicules peut s'avérer une pratique judicieuse dans certains contextes. Par contre, pour des produits de faible valeur, des transports directs seront plus appropriés. Dans cette étude, les conclusions portent à croire qu'un système comportant un entrepôt de distribution n'est pas économique pour tous les cas. Par contre, ce système pourrait s'avérer économique dans d'autres situations, une recherche plus approfondie permettrait d'obtenir des réponses à ce sujet.

Dans un autre ordre d'idée, il serait recommandé d'approfondir les recherches pour comparer l'optimisation du système incluant tous les fournisseurs du donneur d'ordres scindé en région ou en sous-systèmes, les sous-systèmes étant des modules du produit final (par exemple, la pompe à essence). La figure 34 montre les deux types d'optimisation possibles.

Finalement, cette recherche permettra à ce réseau, ainsi qu'à d'autres réseaux d'entreprises, à mieux se préparer pour l'introduction de nouvelles pratiques logistiques menant à l'agilité de leur réseau.

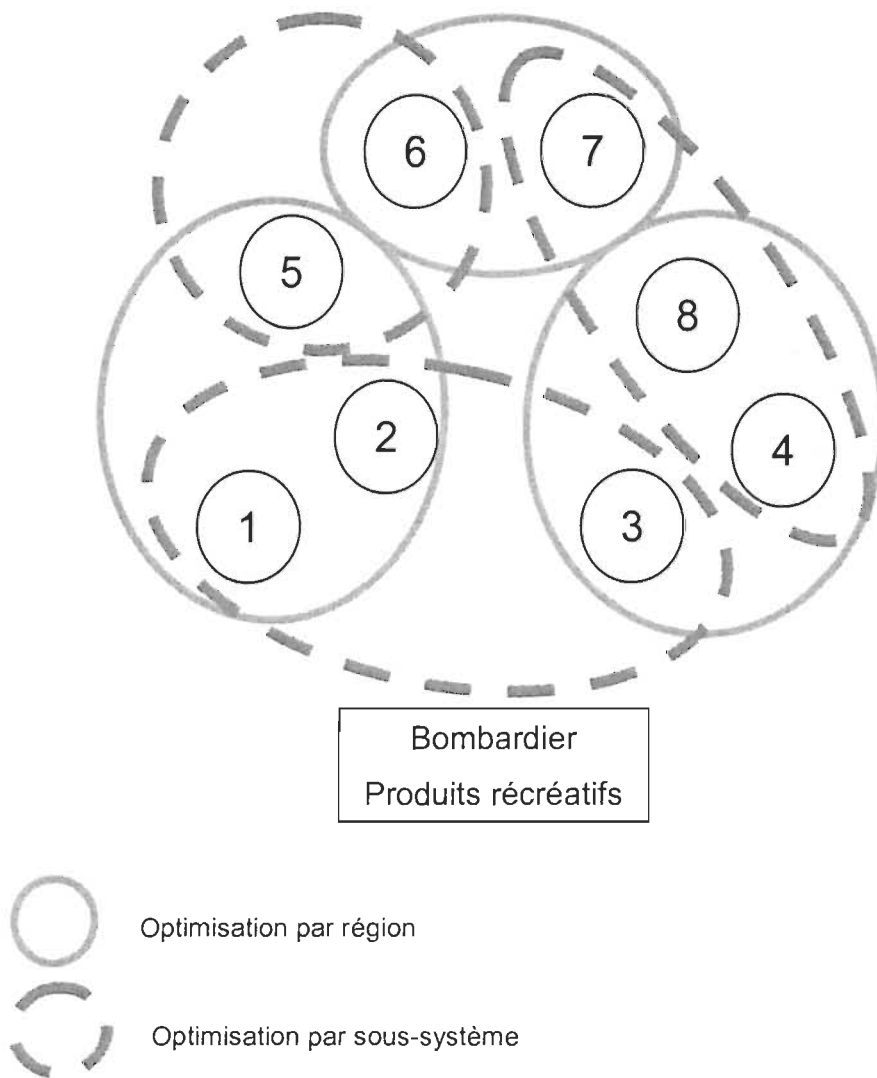


Figure 34. Exemple d'étude d'optimisation par modules et/ou régions

BIBLIOGRAPHIE

Périodiques

Bhatnagar, R., P. Chandra, S.K.Goyal (1993). Models for multi-plant coordination. European Journal of Operational Research, 67(141-160).

Beamon, B.M. (1999). Measuring supply chain performance. International journal of operations and production management, 19(3), pp.275-292.

Benjamin, J. (1989). An analysis of inventory and transportation costs in a constrained network. Transportation science, 23(3), pp.177-183.

Blumenfeld, D.E., D.B. Lawrence, J.D. Diltz, C.F. Daganzo (1985). Analysing trade-offs between transportation, inventory and production costs on freight networks. Transportation research, 19B(5), pp.361-380.

Cavinato, J.L. (2002). What's your supply chain type? Supply chain management review, 1er mai 2002.

Chester, C.W. (1996). Agile manufacturing: beyond lean? Production and inventory management journal, 37(2), p.60.

Chandra, P. et M.L. Fisher (1994). Coordination of production and distribution planning. European journal of operational research, 19B(5), pp.409-419.

Chien, T.W., A. Balakrishnan, R.T. Wong (1989). An integrated inventory allocation and vehicle routing problem. Transportation science, 23(2), pp.67-76.

Christopher, M., D.R. Towill (2001). An integrated model for the design of agile supply chains. International journal of physical distribution and logistics management, 31(4), p.235-246.

Cooper, M.C., D.M. Lambert, J.D. Pagh, (1996). Supply Chain management : more than a new name for logistics. International journal of production management, 8(1), pp.1-14.

Federgruen, A., P. Zipkin (1984). A combined vehicle routing and inventory allocation problem. Operations research, 32(5), pp.1019-1037.

Gélinas, R., Y. Bigras (2000). Les caractéristiques spécifiques de la PME : favorables ou défavorables à l'intégration logistique? Actes du 5^e congrès international de la francophonie sur la PME.

Gunasekaran, A., Y.Y. Yusuf (2002). Agile manufacturing: a taxonomy of strategic and technological imperatives. International journal of production research, 40(6), pp.1357-1385.

Haq, A.N., P. Vrat et A. Kanda (1991). An integrated production-inventory-distribution model for manufacture of urea : a case. International journal of production economics, 39, pp.39-49.

Lambert, D.M. (2001). Supply chain management: what does it involve? Supply chain & logistics journal, 4(4).

Mason-Jones, R., B. Naylor, D.R. Towill (2000). Lean, agile or leagile? Matching your supply chain to the market place. International journal of production research, 38(17), pp.4061-4070.

Mentzer, J.T., W. Dewitt, M. Soohong, N.W. Nix, C.D. Smith, Z.G. Zacharia (2001). Définir le Supply Chain management. Logistique et management, 22(2).

Nassimbeni, G. (1998). Network structures and co-ordination mechanisms : a Taxonomy. International journal of operations and production management, 18(6), pp.538-554.

Sanchez, L.M., R. Nagi (2001). A review of agile manufacturing system. International journal of production research, 39(16), pp.3561-3600.

Sarmiento, A., R. Nagi (1999). A review of integrated analysis of production-distribution systems. IIE transactions, 31, pp.1061-1074.

Tan, K.C. (2002). Supply chain management: Practices, concerns and performance issues. Journal of supply chain management, 38(1), pp.42-59.

Thomas, D.J., P.M. Griffin (1996). Coordinated supply chain management. European journal of operational research, 94, pp.1-15.

Towill, D.R. (1996). Time compression and supply chain management- a guided tour. Supply chain management, 1(1), pp.15-27.

Vaidyanathan, B.S., J.O. Matson, D.M. Miller, J.E. Matson (1999). A capacited vehicle routing problem for just-in-time delivery. IIE Transactions, 31, pp. 1083-1092.

Van Hoek, R.I., A. Harrison, M.Christopher (2001). Measuring agile capabilities in the supply chain. International journal of operations and production management, 21(1-2), p.126-147.

Williams, J.F. (1981). Heuristic techniques for simultaneous scheduling of production and distribution in multi-echelon structures: theory and empirical comparisons. Management science, 27(3), pp. 336-352.

Ouvrages

Baglin, G. et al. (2001). Management industriel et logistique (3^e édition). Paris : Économica.

Ballou, R.H. (1992). Business logistics management (3rd edition). New Jersey: Prentice hall.

Beauchamp Y., G.Abdul-Nour. GIA-1057 : Méthodologie industrielle et expérimentale. Université du Québec à Trois-Rivières. Trois-Rivières.

Bélanger, J.A. (1999). Comment réussir en réseau? Québec : Ministère de l'industrie et du commerce.

Hicks, C.R., K.V. Turner Jr. (1999). Fundamental concepts in the design of experiments (5th edition). Oxford, New York: Oxford University Press.

National research council (2000). Surviving supply chain integration: strategies for small manufacturers. Washington, D.C. : National academy press.

Nollet, J., Kélada, J., Diorio, M.O.(1994). La gestion des opérations et de la production: une approche systémique (2^e édition). Boucherville : Gaétan Morin éditeur.

Poirier, C.C., S.E. Reiter (1996). La supply chain: optimiser la chaîne logistique et le réseau interentreprises. États-Unis : Berret-Koehler Publishers, inc.

Poulin, D., B. Montreuil, S. Gauvin (1994). L'entreprise réseau : bâtir aujourd'hui l'organisation de demain. Montréal : Publi-relais.

Ross, P.J. (1988). Taguchi techniques for quality engineering. United States of America: McGraw-Hill Book Company.

Shapiro, J.F. (2001). Modeling the supply chain. Pacific grove: Thomson learning inc.

Toth, P., D. Vigo (2001). The vehicle routing problem. Bologna: SIAM.

Site web

Tremblay, L. (1999). PME : état de la situation édition 1999 : L'évolution des PME manufacturières. Institut statistique du Québec.

Localisation : www.mic.gouv.qc.ca/publications/dgae/pme_etat-4.pdf

ANNEXE A

Questionnaire aux fournisseurs

Questionnaire fournisseurs

Projet logistique-transport

Raison d'être du projet :

Ce projet vise à déterminer la méthode optimale pour diminuer les coûts totaux de production, d'inventaire et de transport de la nouvelle run de lait implantée depuis quelque temps dans votre entreprise par Bombardier. Toutes les données seront gardées confidentielles et serviront seulement à établir un modèle permettant l'étude du système. Au besoin, une entente de confidentialité pourra être signée avec chaque entreprise.

Document à fournir :

- Liste des commandes de Bombardier pour une période significative (quelques mois)
- Liste des emballages utilisés (document actuellement demandé par Bombardier)

Questions sur les temps et coûts :

Quels sont, par pièce ou groupe de pièces, les temps de production et de set-up pour les produits fournis à Bombardier?

Quels sont les lead times pour vos produits livrés à Bombardier (par groupe de pièces) ? Comment se décomposent-ils? (temps d'attente des sous-traitants, de la matière première, etc.) ?

Quel est, globalement, le coût imputé à une heure de production dans votre entreprise?

Quels sont les coûts d'inventaire pour votre entreprise (en \$ / \$ pièces / période de temps)?

Quels sont les coûts d'administration d'une commande ?

Questions sur le fonctionnement de la run de lait :

Quels sont les temps de chargement moyen lors de la run de lait pour votre entreprise

Quel est l'horaire d'arrivée du camion ?

Quel est le temps passé en inventaire avant que le produit ne soit livré ?

Combien de temps, en moyenne, les produits en trop restent-ils en inventaire après le passage du camion ? En moyenne, combien de produits sont de trop après que le camion soit passé?

Quelle est la capacité de production, en temps, accordée pour les produits de Bombardier (par mois, par semaine ou par jour) ?

Quels sont les problèmes que vous vivez suite à l'implantation de la run de lait ?

Merci de votre collaboration!

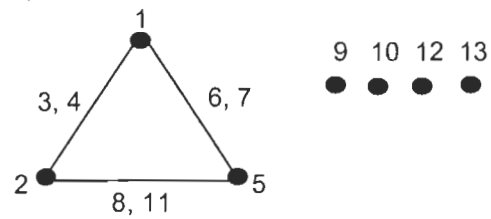
ANNEXE B

Plan et graphique linéaire pour
le design expérimental par
fournisseur

Table L₂₇ (3¹³)

#fact	1				2				3	4		5	
Col	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

Graphique linéaire



NOTE: les colonnes ombragées sont celles ayant été utilisées pour effectuer les tests

ANNEXE C

Exemple de feuille de calculs
utilisée pour la simulation

Exemple de feuille de calcul: Simulation par fournisseur

	Facteurs	N1	N2	N3	TEST
1	Valeur produit	1	10	100	100
2	Facteur amendement	1	3	5	5
3	Temps de mise en route	1	3	5	1
4	Quantité par emballage	100	250	400	400
5	Nombre de commandes par semaine	1	3	5	5

Quantité totale demandée	283638
Coût à l'heure set-up	200 \$
Temps par emballage	0,5
Coût fixe d'emballage par semaine	100,00 \$
Coût d'une heure d'emballage	40,00 \$
Coût fixe de commande par semaine	50,00 \$
Coût par commande	50 \$
Coût par amendement	50 \$
Temps de préparation des expéditions	0,5
Taux horaire à l'expédition	40,00 \$
Coût fixe par expédition	20,00 \$
Coût par facture	24,00 \$
Coût inventaire (%/\$/semaine)	1%
Taille des lots fabriqués	1044

Coût mise en route	54 312,39 \$			
Coût d'emballage	19 381,90 \$			
Coût de commande	80 600,00 \$			
Coût expédition	16 640,00 \$			
Coût inventaire	27 156,19 \$			
Coût total	198 090,48 \$			

NOTE: Pour le fournisseur 3, les données sur les quantités totales n'étaient pas disponibles, les quantités totales commandées ont donc été estimées

ANNEXE D

Résultats détaillés des expériences par fournisseur

Résultats fournisseur 1

Coûts						Pourcentage					
set-up	emb	comm	expé	inv	total	set-up	emb	comm	expé	inv	total
5 431 \$	61 928 \$	7 800 \$	3 328 \$	2 716 \$	81 202 \$	7%	76%	10%	4%	3%	100%
9 407 \$	27 891 \$	33 800 \$	9 984 \$	4 704 \$	85 786 \$	11%	33%	39%	12%	5%	100%
12 145 \$	19 382 \$	80 600 \$	16 640 \$	6 072 \$	134 839 \$	9%	14%	60%	12%	5%	100%
9 407 \$	27 891 \$	28 600 \$	16 640 \$	4 704 \$	87 242 \$	11%	32%	33%	19%	5%	100%
12 145 \$	19 382 \$	13 000 \$	3 328 \$	6 072 \$	53 927 \$	23%	36%	24%	6%	11%	100%
5 431 \$	61 928 \$	49 400 \$	9 984 \$	2 716 \$	129 458 \$	4%	48%	38%	8%	2%	100%
12 145 \$	19 382 \$	18 200 \$	9 984 \$	6 072 \$	65 783 \$	18%	29%	28%	15%	9%	100%
5 431 \$	61 928 \$	54 600 \$	16 640 \$	2 716 \$	141 314 \$	4%	44%	39%	12%	2%	100%
9 407 \$	27 891 \$	18 200 \$	3 328 \$	4 704 \$	63 530 \$	15%	44%	29%	5%	7%	100%
29 748 \$	19 382 \$	18 200 \$	9 984 \$	14 874 \$	92 188 \$	32%	21%	20%	11%	16%	100%
38 405 \$	61 928 \$	54 600 \$	16 640 \$	19 202 \$	190 775 \$	20%	32%	29%	9%	10%	100%
17 175 \$	27 891 \$	18 200 \$	3 328 \$	8 588 \$	75 182 \$	23%	37%	24%	4%	11%	100%
38 405 \$	61 928 \$	7 800 \$	3 328 \$	19 202 \$	130 663 \$	29%	47%	6%	3%	15%	100%
17 175 \$	27 891 \$	33 800 \$	9 984 \$	8 588 \$	97 438 \$	18%	29%	35%	10%	9%	100%
29 748 \$	19 382 \$	80 600 \$	16 640 \$	14 874 \$	161 244 \$	18%	12%	50%	10%	9%	100%
17 175 \$	27 891 \$	28 600 \$	16 640 \$	8 588 \$	98 894 \$	17%	28%	29%	17%	9%	100%
29 748 \$	19 382 \$	13 000 \$	3 328 \$	14 874 \$	80 332 \$	37%	24%	16%	4%	19%	100%
38 405 \$	61 928 \$	49 400 \$	9 984 \$	19 202 \$	178 919 \$	21%	35%	28%	6%	11%	100%
121 446 \$	27 891 \$	28 600 \$	16 640 \$	60 723 \$	255 300 \$	48%	11%	11%	7%	24%	100%
54 312 \$	19 382 \$	13 000 \$	3 328 \$	27 156 \$	117 178 \$	46%	17%	11%	3%	23%	100%
94 072 \$	61 928 \$	49 400 \$	9 984 \$	47 036 \$	262 419 \$	36%	24%	19%	4%	18%	100%
54 312 \$	19 382 \$	18 200 \$	9 984 \$	27 156 \$	129 034 \$	42%	15%	14%	8%	21%	100%
94 072 \$	61 928 \$	54 600 \$	16 640 \$	47 036 \$	274 275 \$	34%	23%	20%	6%	17%	100%
121 446 \$	27 891 \$	18 200 \$	3 328 \$	60 723 \$	231 588 \$	52%	12%	8%	1%	26%	100%
94 072 \$	61 928 \$	7 800 \$	3 328 \$	47 036 \$	214 163 \$	44%	29%	4%	2%	22%	100%
121 446 \$	27 891 \$	33 800 \$	9 984 \$	60 723 \$	253 844 \$	48%	11%	13%	4%	24%	100%
54 312 \$	19 382 \$	80 600 \$	16 640 \$	27 156 \$	198 090 \$	27%	10%	41%	8%	14%	100%

Résultats fournisseur 2

Coûts		Pourcentage									
set-up	emb	comm	expé	inv	total	set-up	emb	comm	expé	inv	total
28 579 \$	877 795 \$	7 800 \$	3 328 \$	7 145 \$	924 646 \$	3%	95%	1%	0%	1%	100%
45 187 \$	66 079 \$	18 200 \$	9 984 \$	11 297 \$	150 747 \$	30%	44%	12%	7%	7%	100%
57 158 \$	36 740 \$	28 600 \$	16 640 \$	14 289 \$	153 427 \$	37%	24%	19%	11%	9%	100%
45 187 \$	66 079 \$	18 200 \$	16 640 \$	11 297 \$	157 403 \$	29%	42%	12%	11%	7%	100%
57 158 \$	36 740 \$	13 000 \$	3 328 \$	14 289 \$	124 515 \$	46%	30%	10%	3%	11%	100%
28 579 \$	877 795 \$	23 400 \$	9 984 \$	7 145 \$	946 902 \$	3%	93%	2%	1%	1%	100%
57 158 \$	36 740 \$	13 000 \$	9 984 \$	14 289 \$	131 171 \$	44%	28%	10%	8%	11%	100%
28 579 \$	877 795 \$	23 400 \$	16 640 \$	7 145 \$	953 558 \$	3%	92%	2%	2%	1%	100%
45 187 \$	66 079 \$	18 200 \$	3 328 \$	11 297 \$	144 091 \$	31%	46%	13%	2%	8%	100%
142 894 \$	36 740 \$	13 000 \$	9 984 \$	35 724 \$	238 341 \$	60%	15%	5%	4%	15%	100%
180 748 \$	877 795 \$	23 400 \$	16 640 \$	45 187 \$	1 143 770 \$	16%	77%	2%	1%	4%	100%
90 374 \$	66 079 \$	18 200 \$	3 328 \$	22 594 \$	200 574 \$	45%	33%	9%	2%	11%	100%
180 748 \$	877 795 \$	7 800 \$	3 328 \$	45 187 \$	1 114 858 \$	16%	79%	1%	0%	4%	100%
90 374 \$	66 079 \$	18 200 \$	9 984 \$	22 594 \$	207 230 \$	44%	32%	9%	5%	11%	100%
142 894 \$	36 740 \$	28 600 \$	16 640 \$	35 724 \$	260 597 \$	55%	14%	11%	6%	14%	100%
90 374 \$	66 079 \$	18 200 \$	16 640 \$	22 594 \$	213 886 \$	42%	31%	9%	8%	11%	100%
142 894 \$	36 740 \$	13 000 \$	3 328 \$	35 724 \$	231 685 \$	62%	16%	6%	1%	15%	100%
180 748 \$	877 795 \$	23 400 \$	9 984 \$	45 187 \$	1 137 114 \$	16%	77%	2%	1%	4%	100%
571 576 \$	66 079 \$	18 200 \$	16 640 \$	142 894 \$	815 389 \$	70%	8%	2%	2%	18%	100%
285 788 \$	36 740 \$	13 000 \$	3 328 \$	71 447 \$	410 303 \$	70%	9%	3%	1%	17%	100%
451 871 \$	877 795 \$	23 400 \$	9 984 \$	112 968 \$	1 476 017 \$	31%	59%	2%	1%	8%	100%
285 788 \$	36 740 \$	13 000 \$	9 984 \$	71 447 \$	416 959 \$	69%	9%	3%	2%	17%	100%
451 871 \$	877 795 \$	23 400 \$	16 640 \$	112 968 \$	1 482 673 \$	30%	59%	2%	1%	8%	100%
571 576 \$	66 079 \$	18 200 \$	3 328 \$	142 894 \$	802 077 \$	71%	8%	2%	0%	18%	100%
451 871 \$	877 795 \$	7 800 \$	3 328 \$	112 968 \$	1 453 761 \$	31%	60%	1%	0%	8%	100%
571 576 \$	66 079 \$	18 200 \$	9 984 \$	142 894 \$	808 733 \$	71%	8%	2%	1%	18%	100%
285 788 \$	36 740 \$	28 600 \$	16 640 \$	71 447 \$	439 215 \$	65%	8%	7%	4%	16%	100%

Résultats fournisseur 3

Coûts						Pourcentage					
set-up	emb	comm	expé	inv	total	set-up	emb	comm	expé	inv	total
6 369 \$	11 400 \$	22 100 \$	3 120 \$	3 184 \$	46 173 \$	14%	25%	48%	7%	7%	100%
10 070 \$	4 560 \$	58 500 \$	9 360 \$	5 035 \$	87 525 \$	12%	5%	67%	11%	6%	100%
12 737 \$	2 850 \$	94 900 \$	15 600 \$	6 369 \$	132 456 \$	10%	2%	72%	12%	5%	100%
10 070 \$	4 560 \$	84 500 \$	15 600 \$	5 035 \$	119 765 \$	8%	4%	71%	13%	4%	100%
12 737 \$	2 850 \$	27 300 \$	3 120 \$	6 369 \$	52 376 \$	24%	5%	52%	6%	12%	100%
6 369 \$	11 400 \$	63 700 \$	9 360 \$	3 184 \$	94 013 \$	7%	12%	68%	10%	3%	100%
12 737 \$	2 850 \$	53 300 \$	9 360 \$	6 369 \$	84 616 \$	15%	3%	63%	11%	8%	100%
6 369 \$	11 400 \$	89 700 \$	15 600 \$	3 184 \$	126 253 \$	5%	9%	71%	12%	3%	100%
10 070 \$	4 560 \$	32 500 \$	3 120 \$	5 035 \$	55 285 \$	18%	8%	59%	6%	9%	100%
31 843 \$	2 850 \$	53 300 \$	9 360 \$	15 922 \$	113 275 \$	28%	3%	47%	8%	14%	100%
40 279 \$	11 400 \$	89 700 \$	15 600 \$	20 140 \$	177 119 \$	23%	6%	51%	9%	11%	100%
20 140 \$	4 560 \$	32 500 \$	3 120 \$	10 070 \$	70 389 \$	29%	6%	46%	4%	14%	100%
40 279 \$	11 400 \$	22 100 \$	3 120 \$	20 140 \$	97 039 \$	42%	12%	23%	3%	21%	100%
20 140 \$	4 560 \$	58 500 \$	9 360 \$	10 070 \$	102 629 \$	20%	4%	57%	9%	10%	100%
31 843 \$	2 850 \$	94 900 \$	15 600 \$	15 922 \$	161 115 \$	20%	2%	59%	10%	10%	100%
20 140 \$	4 560 \$	84 500 \$	15 600 \$	10 070 \$	134 869 \$	15%	3%	63%	12%	7%	100%
31 843 \$	2 850 \$	27 300 \$	3 120 \$	15 922 \$	81 035 \$	39%	4%	34%	4%	20%	100%
40 279 \$	11 400 \$	63 700 \$	9 360 \$	20 140 \$	144 879 \$	28%	8%	44%	6%	14%	100%
127 373 \$	4 560 \$	84 500 \$	15 600 \$	63 687 \$	295 720 \$	43%	2%	29%	5%	22%	100%
63 687 \$	2 850 \$	27 300 \$	3 120 \$	31 843 \$	128 800 \$	49%	2%	21%	2%	25%	100%
100 698 \$	11 400 \$	63 700 \$	9 360 \$	50 349 \$	235 506 \$	43%	5%	27%	4%	21%	100%
63 687 \$	2 850 \$	53 300 \$	9 360 \$	31 843 \$	161 040 \$	40%	2%	33%	6%	20%	100%
100 698 \$	11 400 \$	89 700 \$	15 600 \$	50 349 \$	267 746 \$	38%	4%	34%	6%	19%	100%
127 373 \$	4 560 \$	32 500 \$	3 120 \$	63 687 \$	231 240 \$	55%	2%	14%	1%	28%	100%
100 698 \$	11 400 \$	22 100 \$	3 120 \$	50 349 \$	187 666 \$	54%	6%	12%	2%	27%	100%
127 373 \$	4 560 \$	58 500 \$	9 360 \$	63 687 \$	263 480 \$	48%	2%	22%	4%	24%	100%
63 687 \$	2 850 \$	94 900 \$	15 600 \$	31 843 \$	208 880 \$	30%	1%	45%	7%	15%	100%

Résultats fournisseur 4

Coûts						Pourcentage					
set-up	emb	expé	inv	comm	total	set-up	emb	comm	expé	inv	total
17 612 \$	354 541 \$	4 420 \$	8 806 \$	6 500 \$	391 880 \$	4%	90%	1%	2%	2%	100%
24 908 \$	179 871 \$	13 260 \$	12 454 \$	19 500 \$	249 992 \$	10%	72%	5%	5%	8%	100%
30 506 \$	123 034 \$	22 100 \$	15 253 \$	32 500 \$	223 392 \$	14%	55%	10%	7%	15%	100%
24 908 \$	181 951 \$	22 100 \$	12 454 \$	22 100 \$	263 512 \$	9%	69%	8%	5%	8%	100%
30 506 \$	118 874 \$	4 420 \$	15 253 \$	11 700 \$	180 752 \$	17%	66%	2%	8%	6%	100%
17 612 \$	356 621 \$	13 260 \$	8 806 \$	24 700 \$	421 000 \$	4%	85%	3%	2%	6%	100%
30 506 \$	120 954 \$	13 260 \$	15 253 \$	14 300 \$	194 272 \$	16%	62%	7%	8%	7%	100%
17 612 \$	358 701 \$	22 100 \$	8 806 \$	27 300 \$	434 520 \$	4%	83%	5%	2%	6%	100%
24 908 \$	177 791 \$	4 420 \$	12 454 \$	16 900 \$	236 472 \$	11%	75%	2%	5%	7%	100%
78 765 \$	120 954 \$	13 260 \$	39 383 \$	14 300 \$	266 661 \$	30%	45%	5%	15%	5%	100%
96 467 \$	358 701 \$	22 100 \$	48 234 \$	27 300 \$	552 802 \$	17%	65%	4%	9%	5%	100%
55 695 \$	177 791 \$	4 420 \$	27 848 \$	16 900 \$	282 654 \$	20%	63%	2%	10%	6%	100%
96 467 \$	354 541 \$	4 420 \$	48 234 \$	6 500 \$	510 162 \$	19%	69%	1%	9%	1%	100%
55 695 \$	179 871 \$	13 260 \$	27 848 \$	19 500 \$	296 174 \$	19%	61%	4%	9%	7%	100%
78 765 \$	123 034 \$	22 100 \$	39 383 \$	32 500 \$	295 781 \$	27%	42%	7%	13%	11%	100%
55 695 \$	181 951 \$	22 100 \$	27 848 \$	22 100 \$	309 694 \$	18%	59%	7%	9%	7%	100%
78 765 \$	118 874 \$	4 420 \$	39 383 \$	11 700 \$	253 141 \$	31%	47%	2%	16%	5%	100%
96 467 \$	356 621 \$	13 260 \$	48 234 \$	24 700 \$	539 282 \$	18%	66%	2%	9%	5%	100%
305 056 \$	181 951 \$	22 100 \$	152 528 \$	22 100 \$	683 735 \$	45%	27%	3%	22%	3%	100%
176 124 \$	118 874 \$	4 420 \$	88 062 \$	11 700 \$	399 180 \$	44%	30%	1%	22%	3%	100%
249 077 \$	356 621 \$	13 260 \$	124 539 \$	24 700 \$	768 197 \$	32%	46%	2%	16%	3%	100%
176 124 \$	120 954 \$	13 260 \$	88 062 \$	14 300 \$	412 700 \$	43%	29%	3%	21%	3%	100%
249 077 \$	358 701 \$	22 100 \$	124 539 \$	27 300 \$	781 717 \$	32%	46%	3%	16%	3%	100%
305 056 \$	177 791 \$	4 420 \$	152 528 \$	16 900 \$	656 695 \$	46%	27%	1%	23%	3%	100%
249 077 \$	354 541 \$	4 420 \$	124 539 \$	6 500 \$	739 077 \$	34%	48%	1%	17%	1%	100%
305 056 \$	179 871 \$	13 260 \$	152 528 \$	19 500 \$	670 215 \$	46%	27%	2%	23%	3%	100%
176 124 \$	123 034 \$	22 100 \$	88 062 \$	32 500 \$	441 820 \$	40%	28%	5%	20%	7%	100%

ANNEXE E

Programme SAS pour les coûts
totaux par fournisseur

Fournisseur 1

Options linesize=80;

DATA F1;

INPUT PROD TOT AME SU EMB COM R ;

CARDS;

1	1	1	1	1	1	19858
1	1	2	2	2	2	52434
1	1	3	3	3	3	106361
1	2	1	2	2	3	79382
1	2	2	3	3	1	47703
1	2	3	1	1	2	113594
1	3	1	3	3	2	75786
1	3	2	1	1	3	168235
1	3	3	2	2	1	76493
2	1	1	2	3	2	42263
2	1	2	3	1	3	89257
2	1	3	1	2	1	32365
2	2	1	3	1	1	107896
2	2	2	1	2	2	87952
2	2	3	2	3	3	151335
2	3	1	1	2	3	114214
2	3	2	2	3	1	95677
2	3	3	3	1	2	215844
3	1	1	3	2	3	85445
3	1	2	1	3	1	37325
3	1	3	2	1	2	93079
3	2	1	1	3	2	113984
3	2	2	2	1	3	239857
3	2	3	3	2	1	200276
3	3	1	2	1	1	267981
3	3	2	3	2	2	300805
3	3	3	1	3	3	220889

PROC ANOVA DATA = F1;

CLASS PROD TOT AME SU EMB COM ;

MODEL R = PROD TOT AME SU EMB COM ;

MEANS PROD TOT AME SU EMB COM / SNK;

Fournisseur 2

Options linesize=80;

DATA F1;

INPUT PROD TOT AME SU EMB COM R ;

CARDS;

1	1	1	1	1	1	161510
1	1	2	2	2	2	61421
1	1	3	3	3	3	78957
1	2	1	2	2	3	85140
1	2	2	3	3	1	64681
1	2	3	1	1	2	322008
1	3	1	3	3	2	83688
1	3	2	1	1	3	465763
1	3	3	2	2	1	87085
2	1	1	2	3	2	92249
2	1	2	3	1	3	253513
2	1	3	1	2	1	73500
2	2	1	3	1	1	388976
2	2	2	1	2	2	104979
2	2	3	2	3	3	143864
2	3	1	1	2	3	132847
2	3	2	2	3	1	138602
2	3	3	3	1	2	568384
3	1	1	3	2	3	286323
3	1	2	1	3	1	144838
3	1	3	2	1	2	359267
3	2	1	1	3	2	205393
3	2	2	2	1	3	576859
3	2	3	3	2	1	380474
3	3	1	2	1	1	740828
3	3	2	3	2	2	471754
3	3	3	1	3	3	270129

;

PROC ANOVA DATA = F1;

CLASS PROD TOT AME SU EMB COM ;

MODEL R = PROD TOT AME SU EMB COM ;

MEANS PROD TOT AME SU EMB COM / SNK;

Fournisseur 3

Options linesize=80;

DATA F3;

INPUT PROD TOT AME SU EMB COM R ;

CARDS;

1	1	1	1	1	1	32847
1	1	2	2	2	2	76552
1	1	3	3	3	3	120766
1	2	1	2	2	3	113061
1	2	2	3	3	1	45355
1	2	3	1	1	2	85515
1	3	1	3	3	2	81344
1	3	2	1	1	3	122123
1	3	3	2	2	1	52121
2	1	1	2	3	2	87255
2	1	2	3	1	3	138359
2	1	3	1	2	1	51865
2	2	1	3	1	1	73642
2	2	2	1	2	2	91501
2	2	3	2	3	3	145700
2	3	1	1	2	3	129682
2	3	2	2	3	1	73923
2	3	3	3	1	2	133934
3	1	1	3	2	3	196770
3	1	2	1	3	1	78898
3	1	3	2	1	2	151433
3	2	1	1	3	2	131635
3	2	2	2	1	3	217806
3	2	3	3	2	1	173000
3	3	1	2	1	1	164580
3	3	2	3	2	2	236743
3	3	3	1	3	3	195369

;

PROC ANOVA DATA = F3;

CLASS PROD TOT AME SU EMB COM ;

MODEL R = PROD TOT AME SU EMB COM ;

MEANS PROD TOT AME SU EMB COM / SNK;

Fournisseur 4

Options linesize=80;

DATA F3;

INPUT PROD TOT AME SU EMB COM R ;

CARDS;

1	1	1	1	1	1	224528
1	1	2	2	2	2	86987
1	1	3	3	3	3	99750
1	2	1	2	2	3	160836
1	2	2	3	3	1	97033
1	2	3	1	1	2	560951
1	3	1	3	3	2	146943
1	3	2	1	1	3	879736
1	3	3	2	2	1	191240
2	1	1	2	3	2	105067
2	1	2	3	1	3	323437
2	1	3	1	2	1	95436
2	2	1	3	1	1	620800
2	2	2	1	2	2	182052
2	2	3	2	3	3	194122
2	3	1	1	2	3	262219
2	3	2	2	3	1	202297
2	3	3	3	1	2	978754
3	1	1	3	2	3	300414
3	1	2	1	3	1	161020
3	1	3	2	1	2	418816
3	2	1	1	3	2	274849
3	2	2	2	1	3	835625
3	2	3	3	2	1	449877
3	3	1	2	1	1	1167432
3	3	2	3	2	2	604575
3	3	3	1	3	3	383884

;

PROC ANOVA DATA = F3;

CLASS PROD TOT AME SU EMB COM ;

MODEL R = PROD TOT AME SU EMB COM ;

MEANS PROD TOT AME SU EMB COM / SNK;

ANNEXE F

Résultats des tests de Newman-Keuls par fournisseur

Tests de moyennes fournisseur 1
The SAS System

The ANOVA Procedure
Student-Newman-Keuls Test for R

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate under the complete null hypothesis but not under partial null hypotheses.

PROD

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 16
Error Mean Square 2.5277E8

Number of Means	2	3
Critical Range	15888.035	19338.782

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	PROD
A	215099	9	3
B	122848	9	2
C	93676	9	1

AME

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 16
Error Mean Square 2.5277E8

Number of Means	2	3
Critical Range	15888.035	19338.782

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	AME
A	159474	9	3
B A	143874	9	2
B	128274	9	1

SU

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 16
Error Mean Square 2.5277E8

Number of Means	2	3
Critical Range	15888.035	19338.782

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	SU
A	166182	9	3
B	146798	9	2
C	118643	9	1

EMB

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 16
 Error Mean Square 2.5277E8

Number of Means 2 3
 Critical Range 15888.035 19338.782

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	EMB
A	178132	9	1
B	138756	9	2
C	114735	9	3

COM

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 16
 Error Mean Square 2.5277E8

Number of Means 2 3
 Critical Range 15888.035 19338.782

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	COM
A	171330	9	3
B	143874	9	2
C	116418	9	1

Tests de moyennes fournisseur 2
The SAS System

The ANOVA Procedure
Student-Newman-Keuls Test for R

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate under the complete null hypothesis but not under partial null hypotheses.

PROD

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 16
Error Mean Square 2.6638E9

Number of Means 2 3
Critical Range 51577.91 62780.198

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	PROD
A	900570	9	3
B	527562	9	2
C	409607	9	1

AME

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 16
Error Mean Square 2.6638E9

Number of Means 2 3
Critical Range 51577.91 62780.198

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	AME
A	617779	9	3
A	612579	9	2
A	607379	9	1

SU

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 16
Error Mean Square 2.6638E9

Number of Means 2 3
Critical Range 51577.91 62780.198

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	SU
A	692339	9	3
B	621702	9	2
C	523697	9	1

EMB

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 16
 Error Mean Square 2.6638E9

Number of Means 2 3
 Critical Range 51577.91 62780.198

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	EMB
A	1181478	9	1
B	388903	9	2
C	267357	9	3

COM

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 16
 Error Mean Square 2.6638E9

Number of Means 2 3
 Critical Range 51577.91 62780.198

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	COM
A	624435	9	3
A	612579	9	2
A	600723	9	1

Tests de moyennes fournisseur 3
The SAS System

The ANOVA Procedure
Student-Newman-Keuls Test for R

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate under the complete null hypothesis but not under partial null hypotheses.

PROD

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 16
Error Mean Square 1.9049E8

Number of Means 2 3
Critical Range 13792.616 16788.256

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	PROD
A	220009	9	3
B	120261	9	2
C	88718	9	1

AME

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 16
Error Mean Square 1.9049E8

Number of Means 2 3
Critical Range 13792.616 16788.256

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	AME
A	148196	9	3
A	142996	9	2
A	137796	9	1

SU

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 16
Error Mean Square 1.9049E8

Number of Means 2 3
Critical Range 13792.616 16788.256

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	SU
A	164325	9	3
B	145435	9	2
C	119227	9	1

EMB

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 16
 Error Mean Square 1.9049E8

Number of Means 2 3
 Critical Range 13792.616 16788.256

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	EMB
A	152933	9	1
A	151211	9	2
B	124844	9	3

COM

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 16
 Error Mean Square 1.9049E8

Number of Means 2 3
 Critical Range 13792.616 16788.256

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	COM
A	180436	9	3
B	142996	9	2
C	105556	9	1

Tests de moyennes fournisseur 4
The SAS System

The ANOVA Procedure
Student-Newman-Keuls Test for R

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate under the complete null hypothesis but not under partial null hypotheses.

PROD

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 16
Error Mean Square 7.7842E8

Number of Means 2 3
Critical Range 27881.51 33937.139

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	PROD
A	617037	9	3
B	367372	9	2
C	288421	9	1

AME

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 16
Error Mean Square 7.7842E8

Number of Means 2 3
Critical Range 27881.51 33937.139

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	AME
A	429477	9	3
A	424277	9	2
A	419077	9	1

SU

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 16
Error Mean Square 7.7842E8

Number of Means 2 3
Critical Range 27881.51 33937.139

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	SU
A	467923	9	3
B	428283	9	2
C	376625	9	1

EMB

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 16
 Error Mean Square 7.7842E8

Number of Means 2 3
 Critical Range 27881.51 33937.139

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	EMB
A	570960	9	1
B	405460	9	2
C	296411	9	3

COM

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 16
 Error Mean Square 7.7842E8

Number of Means 2 3
 Critical Range 27881.51 33937.139

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	COM
A	442997	9	3
B A	424277	9	2
B	405557	9	1

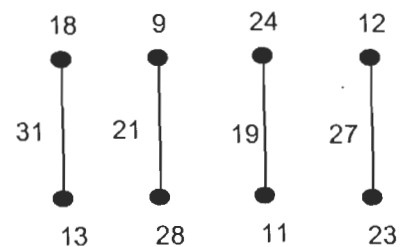
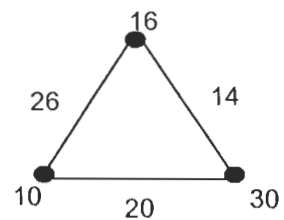
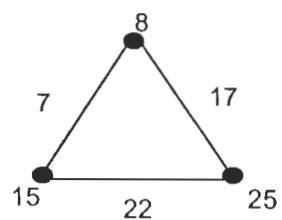
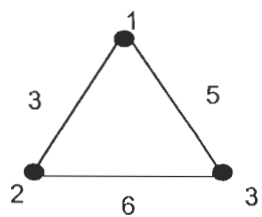
ANNEXE G

Plan et graphique linéaire pour
le design expérimental global

Table L32 (2³¹)

# facteur	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
# colonne	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
# essai	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
4	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
5	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1
7	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
8	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
9	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
10	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1
11	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
12	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2
13	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
14	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2
15	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
16	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1
17	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
18	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
19	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
20	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2
21	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
22	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
23	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
24	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1
25	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
26	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2
27	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
28	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1
29	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
30	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1
31	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1
32	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2

Graphique linéaire



●
29

NOTE: les colonnes ombragées sont celles
ayant été utilisées pour effectuées les tests

ANNEXE H

Formules de calcul des coûts
pour la simulation globale

Formules pour calcul des coûts des simulations du système global

NOTES :

Ces données proviennent de données réelles :

Nombre de commandes

Nombre d'expéditions

Quantité totale par an

Tous les coûts

Les quantités variables sont :

Facteur amendement

Quantité par emballage

Temps de mise en route

Valeur du produit

La taille des lots est variable et se calcule ainsi :

$$\text{Taille des lots} = \sqrt{\frac{2 * \text{Demande annuelle} * \text{coût/ mise en route}}{\text{Coût inventaire} * \text{valeur produit}}}$$

Le coût par mise en route se calcule avec le temps et le coût par heure de mise en route.

Tournée de véhicules

Coût de commande :

$$\frac{\text{Nombre de commandes}}{\text{an}} \times \left(\frac{\text{Coût}}{\text{Commande}} + \text{Facteur amendement} \times \frac{\text{Coût}}{\text{Amendement}} \right) + 50 \times \frac{\text{Coût fixe de commandes}}{\text{semaine}}$$

Coût d'emballage :

$$\frac{\text{Quantité Totale par an}}{\text{Quantité par emballage}} \times \left(\text{Temps d'emballage} \times \frac{\text{Coût d'emballage}}{\text{Heure}} \right) + 50 \times \frac{\text{Coût fixe d'emballage}}{\text{semaine}}$$

Coût d'expédition

$$\frac{\text{Nombre d'expéditions}}{\text{an}} \times \left(\text{Temps} \times \frac{\text{Coût d'expédition}}{\text{Heure}} + \frac{\text{Coût}}{\text{Facture}} + \frac{\text{Coût fixe}}{\text{expédition}} \right)$$

Coût d'inventaire

$$\frac{\text{Taille des lots}}{2} \times (\text{Coût inventaire (\%/\$/semaine)}) \times 50 \times \text{Valeur du produit}$$

Coût de mise en route

$$\frac{\text{Quantité Totale par an}}{\text{Taille des lots}} \times \left(\text{Temps de mise en route} \times \frac{\text{Coût mise en route}}{\text{heure}} \right)$$

Coût de transport

$$\text{Nombre d'expéditions} \times \left[\left(\frac{\text{Coût}}{\text{transport}} \right) + \text{Distance} \times \frac{\text{Coût de transport}}{\text{Kilomètre}} \right]$$

Transports directs

Pour cette partie, les coûts suivants sont les mêmes que pour la tournée : commande, emballage et mise en route.

Coût d'inventaire :

$$\frac{\text{Taille des lots}}{2} \times (\text{coût inventaire (\%/\$/semaine)}) \times 50 \times \text{Valeur du produit}$$

Le calcul se fait de la même façon que pour la tournée, mise à part que l'inventaire est transféré au donneur d'ordres.

Coût d'expédition :

Le coût d'expédition se calcule comme pour la tournée de véhicules, mais le nombre d'expéditions se calcule autrement :

$$\text{Nombre d'expéditions} = \frac{\text{Quantité Totale par an}}{\text{Taille des lots économiques fabriqués}}$$

Coût de transport

Le transport se calcule par fournisseur et est calculé comme suit :

$$\text{Nombre d'expéditions} \times \left[\left(\frac{\text{Coût}}{\text{transport}} \right) + \text{Distance fournisseur - donneur d'ordres} \times \frac{\text{Coût de transport}}{\text{Kilomètre}} \right]$$

Le nombre d'expéditions se calcule comme démontré dans le coût d'expédition

Entrepôt de distribution

Pour cette partie, les coûts suivants sont les mêmes que pour la tournée et les transports directs : commande, emballage et mise en route.

Coût d'inventaire :

$$\frac{\text{Taille des lots}}{2} \times (\% / \$ / \text{semaine}) \times 50 \times \text{Valeur du produit}$$

Le calcul se fait de la même façon que pour la tournée, mise à part que l'inventaire est transféré à l'entrepôt.

Coût d'expédition :

Le coût d'expédition, ainsi que le nombre d'expéditions se calcule comme pour les transports directs.

Coût de transport

Le transport se calcule en deux parties. La première par fournisseur pour les transports entre le fournisseur et l'entrepôt et la deuxième pour le transport entre l'entrepôt et le donneur d'ordres. Ce coût se calcule ainsi :

$$\begin{aligned} & \text{Nombre d'expéditions} \times \left[\left(\frac{\text{Coût}}{\text{transport}} \right) + \left(\text{Distance fournisseur - entrepôt} \times \frac{\text{Coût de transport}}{\text{Kilomètre}} \right) \right] \\ & + 5 \times 50 \times \frac{\text{Coût}}{\text{transport}} \times \text{Distance entrepôt - donneur d'ordres} \end{aligned}$$

ANNEXE I

Exemple de feuille de calcul
pour la simulation globale

NOTES (valables pour les trois types de systèmes) :

Fournisseur 3 : les données ont été estimées pour certaines données manquantes.

Coût fixe par emballage et non par semaine (fournisseur 3).

Estimé pour 50 semaines par an (tous les fournisseurs)

Simulation globale-Tournée de véhicules

3 facteurs par fournisseur pour un total de 12 facteurs et un facteur commun

Facteurs	N1	N2	TEST	
1 Valeur produit	1	10	1	F1
2 Temps de mise en route	2	5	2	F1
3 Qté par emballage	100	400	400	F1
4 Valeur produit	1	100	1	F2
5 Temps de mise en route	2	8	8	F2
6 Qté par emballage	30	430	30	F2
7 Valeur produit	1	10	1	F3
8 Temps de mise en route	2	8	2	F3
9 Qté par emballage	100	400	400	F3
10 Valeur produit	0,1	10	0,1	F4
11 Temps de mise en route	3	9	9	F4
12 Qté par emballage	1000	2000	1000	F4
13 Facteur amendement	1	5	5	

	F1	F2	F3	F4	Total
Coût de commande	2 500 \$	2 500 \$	3 750 \$	- \$	8 750 \$
Coût d'emballage	1 000 \$	2 500 \$	- \$	1 000 \$	4 500 \$
Coût expédition	13 649 \$	14 892 \$	13 500 \$	20 570 \$	62 611 \$
Coût inventaire fournisseur	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Coût mise en route	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Coût de transport					175 287 \$
Coût global	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

	F1	F2	F3	F4	
Nb commandes par an					
Coût par commande					
Facteur amendement	5	5	5	5	
Coût par amendement	50 \$	50 \$	50 \$	50 \$	
Coût fixe de commande par semaine	50,00 \$	50,00 \$	75 \$		
Quantité totale par an					
Lot moyen demandé					
Quantité par emballage	400	30	400	1000	
Temps par emballage	0,5	0,5	0,5	0,5	
Coût d'une heure d'emballage	40,00 \$	40,00 \$	40,00 \$	80,00 \$	
Coût fixe d'emballage par semaine	20,00 \$	50,00 \$	11,40 \$	20,00 \$	
Nombre d'expéditions	213	233	225	242	
Temps de préparation des expéditions	0,5	0,5	0,5	0,5	
Taux horaire à l'expédition	40,00 \$	40,00 \$	40,00 \$	80,00 \$	
Coût fixe par expédition	20,00 \$	20,00 \$	20,00 \$	20,00 \$	
Coût par facture	24,00 \$	24,00 \$	20,00 \$	25,00 \$	
Taille des lots fabriqués	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	Calculé
Coût inventaire (%\$/semaine)					
Valeur produit					
Temps de set-up					
Coût à l'heure set-up					

Simulation globale-Transports directs

3 facteurs par fournisseur pour un total de 12 facteurs et un facteur commun

	Facteurs	N1	N2	TEST	
1	Valeur produit	1	10	1	F1
2	Temps de mise en route	2	5	2	F1
3	Qté par emballage	100	400	400	F1
4	Valeur produit	1	100	1	F2
5	Temps de mise en route	2	8	8	F2
6	Qté par emballage	30	430	30	F2
7	Valeur produit	1	10	1	F3
8	Temps de mise en route	2	8	2	F3
9	Qté par emballage	100	400	400	F3
10	Valeur produit	0,1	10	0,1	F4
11	Temps de mise en route	3	9	9	F4
12	Qté par emballage	1000	2000	1000	F4
13	Facteur amendement	1	5	5	

	F1	F2	F3	F4	Total
Coût de commande	2 500 \$	2 500 \$	3 750 \$	- \$	8 750 \$
Coût d'emballage	1 000 \$	2 500 \$	- \$	1 000 \$	4 500 \$
Coût expédition	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Coût inventaire fournisseurs	- \$	- \$	- \$	- \$	- \$
Coût mise en route	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Coût de transport	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Coût inventaire BBD	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Coût global					#DIV/0!

	F1	F2	F3	F4	
Nb commandes par an					
Coût par commande					
Facteur amendement	5	5	5	5	
Coût par amendement	50 \$	50 \$	50 \$	50 \$	
Coût fixe de commande par semaine	50,00 \$	50,00 \$	75 \$		
Quantité totale par an					
Lot moyen demandé	1061	1746	1500	3048	
Quantité par emballage	400	30	400	1000	
Temps par emballage	0,5	0,5	0,5	0,5	
Coût d'une heure d'emballage	40,00 \$	40,00 \$	40,00 \$	80,00 \$	
Coût fixe d'emballage par semaine	20,00 \$	50,00 \$	11,40 \$	20,00 \$	
Nombre d'expéditions	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
Temps de préparation des expéditions	0,5	0,5	0,5	0,5	
Taux horaire à l'expédition	40,00 \$	40,00 \$	40,00 \$	80,00 \$	
Coût fixe par expédition	20,00 \$	20,00 \$	20,00 \$	20,00 \$	
Coût par facture	24,00 \$	24,00 \$	20,00 \$	25,00 \$	
Taille des lots fabriqués	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	Calculé
Coût inventaire (%/\$/semaine)					
Valeur produit					
Temps de set-up					
Coût à l'heure set-up					
Distance du client					Aller-retour

Simulation globale-Avec entrepôt de distribution

3 facteurs par fournisseur pour un total de 12 facteurs et un facteur commun

Facteurs	N1	N2	TEST	
1 Valeur produit	1	10	1	F1
2 Temps de mise en route	2	5	2	F1
3 Qté par emballage	100	400	400	F1
4 Valeur produit	1	100	1	F2
5 Temps de mise en route	2	8	8	F2
6 Qté par emballage	30	430	30	F2
7 Valeur produit	1	10	1	F3
8 Temps de mise en route	2	8	2	F3
9 Qté par emballage	100	400	400	F3
10 Valeur produit	0,1	10	0,1	F4
11 Temps de mise en route	3	9	9	F4
12 Qté par emballage	1000	2000	1000	F4
13 Facteur amendement	1	5	5	

	F1	F2	F3	F4	Total
Coût de commande	2 500 \$	2 500 \$	3 750 \$	- \$	8 750 \$
Coût d'emballage	1 000 \$	2 500 \$	- \$	1 000 \$	4 500 \$
Coût expédition	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Coût inventaire fournisseurs	- \$	- \$	- \$	- \$	- \$
Coût mise en route	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Coût de transport	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Coût expédition entrepôt					80 000 \$
Coût inventaire entrepôt	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Coût global					#DIV/0!

	F1	F2	F3	F4
Nb commandes par an				
Coût par commande				
Facteur amendement	5	5	5	5
Coût par amendement	50 \$	50 \$	50 \$	50 \$
Coût fixe de commande par semaine	50,00 \$	50,00 \$	75 \$	
Quantité totale par an				
Lot moyen demandé	1061	1746	1500	3048
Quantité par emballage	400	30	400	1000
Temps par emballage	0,5	0,5	0,5	0,5
Coût d'une heure d'emballage	40,00 \$	40,00 \$	40,00 \$	80,00 \$
Coût fixe d'emballage par semaine	20,00 \$	50,00 \$	11,40 \$	20,00 \$
Nombre d'expéditions	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Temps de préparation des expéditions	0,5	0,5	0,5	0,5
Taux horaire à l'expédition	40,00 \$	40,00 \$	40,00 \$	80,00 \$
Coût fixe par expédition	20,00 \$	20,00 \$	20,00 \$	20,00 \$
Coût par facture	24,00 \$	24,00 \$	20,00 \$	25,00 \$
Taille des lots fabriqués	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Coût inventaire (%/\$/semaine)				
Valeur produit				
Temps de set-up				
Coût à l'heure set-up				
Distance du client				
Coût par km	2,00 \$	Coût par transport		200,00 \$

Calculé

Aller-retour

ANNEXE J

Programme SAS pour les coûts
totaux par type de système

TOURNÉE DE VÉHICULES

Options linesize=80;

DATA GLOBAL;

INPUT PROD1 SU1 EMB1 PROD2 SU2 EMB2 PROD3 SU3 EMB3 PROD4 SU4 EMB4 AME R ;

CARDS;

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2517798
1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2631403
1	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2886960
1	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	3649744
1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	3030721
1	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2194375
1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1839636
1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	3552370
1	2	1	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	2616591
1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2716179
1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	3235501
1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2553397
1	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2	3728442
1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1545166
1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2197003
1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	2	3797762
2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2532533
2	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2775338
2	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2649305
2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	1	2	3282890
2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1621963
2	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2	3452841
2	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	2	3937106
2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2678739
2	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2782778
2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2620652
2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	3501197
2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	3080806
2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1911403
2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	3090140
2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	3838171
2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	2076916

;

PROC ANOVA DATA = GLOBAL ;

CLASS PROD1 SU1 EMB1 PROD2 SU2 EMB2 PROD3 SU3 EMB3 PROD4 SU4 EMB4 AME ;

MODEL R = PROD1 SU1 EMB1 PROD2 SU2 EMB2 PROD3 SU3 EMB3 PROD4 SU4 EMB4 AME ;

MEANS PROD1 SU1 EMB1 PROD2 SU2 EMB2 PROD3 SU3 EMB3 PROD4 SU4 EMB4 AME / SNK ;

DIRECT

Options linesize=80;

DATA GLOBAL;

INPUT PROD1 SU1 EMB1 PROD2 SU2 EMB2 PROD3 SU3 EMB3 PROD4 SU4 EMB4 AME R ;

CARDS;

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2358496
1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2668856
1	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2819343
1	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	3693675
1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2850197
1	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2138631
1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1912265
1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	3808523
1	2	1	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	2600525
1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2543050
1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	3396858
1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2642896
1	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2	3645629
1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1377265
1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2306081
1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	2	3763008
2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2397387
2	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2764972
2	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2767313
2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	1	2	3584422
2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1204162
2	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2	3535672
2	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	2	3914866
2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2768049
2	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2728665
2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2481451
2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	3638975
2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	3074752
2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1924037
2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2945712
2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	4028227
2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	2195115

;

PROC ANOVA DATA = GLOBAL ;

CLASS PROD1 SU1 EMB1 PROD2 SU2 EMB2 PROD3 SU3 EMB3 PROD4 SU4 EMB4 AME ;

MODEL R = PROD1 SU1 EMB1 PROD2 SU2 EMB2 PROD3 SU3 EMB3 PROD4 SU4 EMB4 AME ;

MEANS PROD1 SU1 EMB1 PROD2 SU2 EMB2 PROD3 SU3 EMB3 PROD4 SU4 EMB4 AME / SNK ;

ENTREPÔT

Options linesize=80;

DATA GLOBAL;

INPUT PROD1 SU1 EMB1 PROD2 SU2 EMB2 PROD3 SU3 EMB3 PROD4 SU4 EMB4 AME R ;

CARDS;

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2454787
1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2816242
1	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2934005
1	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	3836984
1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2941756
1	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2264350
1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2057311
1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	3999151
1	2	1	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	2731486
1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2639454
1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	3565706
1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2799635
1	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2	3760624
1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1474638
1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2465244
1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	2	3893127
2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2488947
2	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2890691
2	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2912359
2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	1	2	3775049
2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1300454
2	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2	3683058
2	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	2	4029529
2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2911358
2	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2843660
2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2578824
2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	3798137
2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	3204870
2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2054997
2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	3042116
2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	4197075
2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	2351854

;

PROC ANOVA DATA = GLOBAL ;

CLASS PROD1 SU1 EMB1 PROD2 SU2 EMB2 PROD3 SU3 EMB3 PROD4 SU4 EMB4 AME ;

MODEL R = PROD1 SU1 EMB1 PROD2 SU2 EMB2 PROD3 SU3 EMB3 PROD4 SU4 EMB4 AME ;

MEANS PROD1 SU1 EMB1 PROD2 SU2 EMB2 PROD3 SU3 EMB3 PROD4 SU4 EMB4 AME / SNK ;

ANNEXE K

Résultats détaillés par type de système

Résultats détaillés tournée de véhicules

# test	Fournisseur	Coûts					
		commande	emballage	expédition	inv. Fourn	mise en route	global
1	F1	74 922 \$	154 683 \$	13 649 \$	6 078 \$	12 642 \$	261 974 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	14 892 \$	10 962 \$	22 802 \$	958 442 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	13 500 \$	7 354 \$	15 297 \$	607 651 \$
	F4	234 500 \$	229 707 \$	20 570 \$	9 632 \$	20 035 \$	514 444 \$
	Tot	641 002 \$	1 534 096 \$	62 611 \$	34 027 \$	70 776 \$	2 517 798 \$
2	F1	219 765 \$	154 683 \$	13 649 \$	6 078 \$	12 642 \$	406 817 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	14 892 \$	10 962 \$	22 802 \$	326 528 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	13 500 \$	23 257 \$	48 374 \$	566 130 \$
	F4	609 700 \$	229 707 \$	20 570 \$	96 320 \$	200 345 \$	1 156 642 \$
	Tot	1 449 206 \$	523 521 \$	62 611 \$	136 617 \$	284 163 \$	2 631 403 \$
3	F1	219 765 \$	154 683 \$	13 649 \$	6 078 \$	12 642 \$	406 817 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	14 892 \$	219 248 \$	456 035 \$	968 046 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	13 500 \$	14 709 \$	30 594 \$	539 803 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	20 570 \$	16 683 \$	34 701 \$	797 008 \$
	Tot	1 449 206 \$	409 167 \$	62 611 \$	256 718 \$	533 973 \$	2 886 960 \$
4	F1	74 922 \$	154 683 \$	13 649 \$	6 078 \$	12 642 \$	261 974 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	14 892 \$	219 248 \$	456 035 \$	1 599 961 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	13 500 \$	46 513 \$	96 747 \$	728 260 \$
	F4	234 500 \$	115 354 \$	20 570 \$	166 831 \$	347 008 \$	884 262 \$
	Tot	641 002 \$	1 419 742 \$	62 611 \$	438 669 \$	912 433 \$	3 649 744 \$
5	F1	219 765 \$	39 421 \$	13 649 \$	6 078 \$	12 642 \$	291 555 \$
	F2	217 241 \$	835 706 \$	14 892 \$	21 925 \$	45 604 \$	1 135 367 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	13 500 \$	7 354 \$	15 297 \$	517 151 \$
	F4	609 700 \$	229 707 \$	20 570 \$	16 683 \$	34 701 \$	911 361 \$
	Tot	1 449 206 \$	1 183 334 \$	62 611 \$	52 040 \$	108 244 \$	3 030 721 \$
6	F1	74 922 \$	39 421 \$	13 649 \$	6 078 \$	12 642 \$	146 712 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	14 892 \$	21 925 \$	45 604 \$	217 131 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	13 500 \$	23 257 \$	48 374 \$	656 630 \$
	F4	234 500 \$	229 707 \$	20 570 \$	166 831 \$	347 008 \$	998 616 \$
	Tot	641 002 \$	643 759 \$	62 611 \$	218 090 \$	453 627 \$	2 194 375 \$
7	F1	74 922 \$	39 421 \$	13 649 \$	6 078 \$	12 642 \$	146 712 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	14 892 \$	109 624 \$	228 018 \$	487 244 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	13 500 \$	14 709 \$	30 594 \$	630 303 \$
	F4	234 500 \$	115 354 \$	20 570 \$	9 632 \$	20 035 \$	400 090 \$
	Tot	641 002 \$	529 405 \$	62 611 \$	140 043 \$	291 289 \$	1 839 636 \$
8	F1	219 765 \$	39 421 \$	13 649 \$	6 078 \$	12 642 \$	291 555 \$
	F2	217 241 \$	835 706 \$	14 892 \$	109 624 \$	228 018 \$	1 405 480 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	13 500 \$	46 513 \$	96 747 \$	637 760 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	20 570 \$	96 320 \$	200 345 \$	1 042 288 \$
	Tot	1 449 206 \$	1 068 980 \$	62 611 \$	258 535 \$	537 752 \$	3 552 370 \$
9	F1	74 922 \$	154 683 \$	13 649 \$	9 610 \$	19 989 \$	272 853 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	14 892 \$	21 925 \$	45 604 \$	992 206 \$
	F3	257 500 \$	78 500 \$	13 500 \$	14 709 \$	30 594 \$	394 803 \$
	F4	234 500 \$	229 707 \$	20 570 \$	96 320 \$	200 345 \$	781 442 \$

Résultats détaillés tournée de véhicules

# test	Fournisseur	Coûts						
		commande	emballage	expédition	inv. Fourn	mise en route	transport	global
	Tot	641 002 \$	1 298 596 \$	62 611 \$	142 564 \$	296 532 \$	175 287 \$	2 616 591 \$
10	F1	219 765 \$	154 683 \$	13 649 \$	9 610 \$	19 989 \$		417 696 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	14 892 \$	21 925 \$	45 604 \$		360 292 \$
	F3	402 500 \$	314 000 \$	13 500 \$	46 513 \$	96 747 \$		873 260 \$
	F4	609 700 \$	229 707 \$	20 570 \$	9 632 \$	20 035 \$		889 644 \$
	Tot	1 449 206 \$	759 021 \$	62 611 \$	87 680 \$	182 375 \$	175 287 \$	2 716 179 \$
11	F1	219 765 \$	154 683 \$	13 649 \$	9 610 \$	19 989 \$		417 696 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	14 892 \$	109 624 \$	228 018 \$		630 405 \$
	F3	402 500 \$	314 000 \$	13 500 \$	7 354 \$	15 297 \$		752 651 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	20 570 \$	166 831 \$	347 008 \$		1 259 462 \$
	Tot	1 449 206 \$	644 667 \$	62 611 \$	293 419 \$	610 312 \$	175 287 \$	3 235 501 \$
12	F1	74 922 \$	154 683 \$	13 649 \$	9 610 \$	19 989 \$		272 853 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	14 892 \$	109 624 \$	228 018 \$		1 262 319 \$
	F3	257 500 \$	78 500 \$	13 500 \$	23 257 \$	48 374 \$		421 130 \$
	F4	234 500 \$	115 354 \$	20 570 \$	16 683 \$	34 701 \$		421 808 \$
	Tot	641 002 \$	1 184 242 \$	62 611 \$	159 174 \$	331 081 \$	175 287 \$	2 553 397 \$
13	F1	219 765 \$	39 421 \$	13 649 \$	9 610 \$	19 989 \$		302 434 \$
	F2	217 241 \$	835 706 \$	14 892 \$	10 962 \$	22 802 \$		1 101 603 \$
	F3	402 500 \$	314 000 \$	13 500 \$	14 709 \$	30 594 \$		775 303 \$
	F4	609 700 \$	229 707 \$	20 570 \$	166 831 \$	347 008 \$		1 373 816 \$
	Tot	1 449 206 \$	1 418 834 \$	62 611 \$	202 112 \$	420 393 \$	175 287 \$	3 728 442 \$
14	F1	74 922 \$	39 421 \$	13 649 \$	9 610 \$	19 989 \$		157 591 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	14 892 \$	10 962 \$	22 802 \$		183 367 \$
	F3	257 500 \$	78 500 \$	13 500 \$	46 513 \$	96 747 \$		492 760 \$
	F4	234 500 \$	229 707 \$	20 570 \$	16 683 \$	34 701 \$		536 161 \$
	Tot	641 002 \$	408 259 \$	62 611 \$	83 769 \$	174 239 \$	175 287 \$	1 545 166 \$
15	F1	74 922 \$	39 421 \$	13 649 \$	9 610 \$	19 989 \$		157 591 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	14 892 \$	219 248 \$	456 035 \$		824 886 \$
	F3	257 500 \$	78 500 \$	13 500 \$	7 354 \$	15 297 \$		372 151 \$
	F4	234 500 \$	115 354 \$	20 570 \$	96 320 \$	200 345 \$		667 088 \$
	Tot	641 002 \$	293 905 \$	62 611 \$	332 532 \$	691 667 \$	175 287 \$	2 197 003 \$
16	F1	219 765 \$	39 421 \$	13 649 \$	9 610 \$	19 989 \$		302 434 \$
	F2	217 241 \$	835 706 \$	14 892 \$	219 248 \$	456 035 \$		1 743 121 \$
	F3	402 500 \$	314 000 \$	13 500 \$	23 257 \$	48 374 \$		801 630 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	20 570 \$	9 632 \$	20 035 \$		775 290 \$
	Tot	1 449 206 \$	1 304 480 \$	62 611 \$	261 746 \$	544 433 \$	175 287 \$	3 797 762 \$
17	F1	219 765 \$	154 683 \$	13 649 \$	19 221 \$	39 979 \$		447 296 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	14 892 \$	21 925 \$	45 604 \$		360 292 \$
	F3	402 500 \$	314 000 \$	13 500 \$	7 354 \$	15 297 \$		752 651 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	20 570 \$	16 683 \$	34 701 \$		797 008 \$
	Tot	1 449 206 \$	644 667 \$	62 611 \$	65 183 \$	135 580 \$	175 287 \$	2 532 533 \$
18	F1	74 922 \$	154 683 \$	13 649 \$	19 221 \$	39 979 \$		302 453 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	14 892 \$	21 925 \$	45 604 \$		992 206 \$
	F3	257 500 \$	78 500 \$	13 500 \$	23 257 \$	48 374 \$		421 130 \$

Résultats détaillés tournée de véhicules

# test	Fournisseur	Coûts						
		commande	emballage	expédition	inv. Fourn	mise en route	transport	global
	F4	234 500 \$	115 354 \$	20 570 \$	166 831 \$	347 008 \$		884 262 \$
	Tot	641 002 \$	1 184 242 \$	62 611 \$	231 233 \$	480 964 \$	175 287 \$	2 775 338 \$
19	F1	74 922 \$	154 683 \$	13 649 \$	19 221 \$	39 979 \$		302 453 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	14 892 \$	109 624 \$	228 018 \$		1 262 319 \$
	F3	257 500 \$	78 500 \$	13 500 \$	14 709 \$	30 594 \$		394 803 \$
	F4	234 500 \$	229 707 \$	20 570 \$	9 632 \$	20 035 \$		514 444 \$
	Tot	641 002 \$	1 298 596 \$	62 611 \$	153 185 \$	318 625 \$	175 287 \$	2 649 305 \$
20	F1	219 765 \$	154 683 \$	13 649 \$	19 221 \$	39 979 \$		447 296 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	14 892 \$	109 624 \$	228 018 \$		630 405 \$
	F3	402 500 \$	314 000 \$	13 500 \$	46 513 \$	96 747 \$		873 260 \$
	F4	609 700 \$	229 707 \$	20 570 \$	96 320 \$	200 345 \$		1 156 642 \$
	Tot	1 449 206 \$	759 021 \$	62 611 \$	271 677 \$	565 089 \$	175 287 \$	3 282 890 \$
21	F1	74 922 \$	39 421 \$	13 649 \$	19 221 \$	39 979 \$		187 191 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	14 892 \$	109 624 \$	228 018 \$		487 244 \$
	F3	257 500 \$	78 500 \$	13 500 \$	7 354 \$	15 297 \$		372 151 \$
	F4	234 500 \$	115 354 \$	20 570 \$	9 632 \$	20 035 \$		400 090 \$
	Tot	641 002 \$	293 905 \$	62 611 \$	145 831 \$	303 328 \$	175 287 \$	1 621 963 \$
22	F1	219 765 \$	39 421 \$	13 649 \$	19 221 \$	39 979 \$		332 034 \$
	F2	217 241 \$	835 706 \$	14 892 \$	10 962 \$	22 802 \$		1 101 603 \$
	F3	402 500 \$	314 000 \$	13 500 \$	23 257 \$	48 374 \$		801 630 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	20 570 \$	96 320 \$	200 345 \$		1 042 288 \$
	Tot	1 449 206 \$	1 304 480 \$	62 611 \$	149 759 \$	311 499 \$	175 287 \$	3 452 841 \$
23	F1	219 765 \$	39 421 \$	13 649 \$	19 221 \$	39 979 \$		332 034 \$
	F2	217 241 \$	835 706 \$	14 892 \$	219 248 \$	456 035 \$		1 743 121 \$
	F3	402 500 \$	314 000 \$	13 500 \$	14 709 \$	30 594 \$		775 303 \$
	F4	609 700 \$	229 707 \$	20 570 \$	16 683 \$	34 701 \$		911 361 \$
	Tot	1 449 206 \$	1 418 834 \$	62 611 \$	269 860 \$	561 309 \$	175 287 \$	3 937 106 \$
24	F1	74 922 \$	39 421 \$	13 649 \$	19 221 \$	39 979 \$		187 191 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	14 892 \$	219 248 \$	456 035 \$		824 886 \$
	F3	257 500 \$	78 500 \$	13 500 \$	46 513 \$	96 747 \$		492 760 \$
	F4	234 500 \$	229 707 \$	20 570 \$	166 831 \$	347 008 \$		998 616 \$
	Tot	641 002 \$	408 259 \$	62 611 \$	451 812 \$	939 769 \$	175 287 \$	2 678 739 \$
25	F1	219 765 \$	154 683 \$	13 649 \$	30 390 \$	63 212 \$		481 699 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	14 892 \$	10 962 \$	22 802 \$		326 528 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	13 500 \$	14 709 \$	30 594 \$		539 803 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	20 570 \$	166 831 \$	347 008 \$		1 259 462 \$
	Tot	1 449 206 \$	409 167 \$	62 611 \$	222 892 \$	463 616 \$	175 287 \$	2 782 778 \$
26	F1	74 922 \$	154 683 \$	13 649 \$	30 390 \$	63 212 \$		336 856 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	14 892 \$	10 962 \$	22 802 \$		958 442 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	13 500 \$	46 513 \$	96 747 \$		728 260 \$
	F4	234 500 \$	115 354 \$	20 570 \$	16 683 \$	34 701 \$		421 808 \$
	Tot	641 002 \$	1 419 742 \$	62 611 \$	104 549 \$	217 462 \$	175 287 \$	2 620 652 \$
27	F1	74 922 \$	154 683 \$	13 649 \$	30 390 \$	63 212 \$		336 856 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	14 892 \$	219 248 \$	456 035 \$		1 599 961 \$

Résultats détaillés tournée de véhicules

# test	Fournisseur	Coûts						
		commande	emballage	expédition	inv. Fourn	mise en route	transport	global
	F3	257 500 \$	314 000 \$	13 500 \$	7 354 \$	15 297 \$		607 651 \$
	F4	234 500 \$	229 707 \$	20 570 \$	96 320 \$	200 345 \$		781 442 \$
	Tot	641 002 \$	1 534 096 \$	62 611 \$	353 312 \$	734 889 \$	175 287 \$	3 501 197 \$
28	F1	219 765 \$	154 683 \$	13 649 \$	30 390 \$	63 212 \$		481 699 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	14 892 \$	219 248 \$	456 035 \$		968 046 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	13 500 \$	23 257 \$	48 374 \$		566 130 \$
	F4	609 700 \$	229 707 \$	20 570 \$	9 632 \$	20 035 \$		889 644 \$
	Tot	1 449 206 \$	523 521 \$	62 611 \$	282 527 \$	587 655 \$	175 287 \$	3 080 806 \$
29	F1	74 922 \$	39 421 \$	13 649 \$	30 390 \$	63 212 \$		221 594 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	14 892 \$	21 925 \$	45 604 \$		217 131 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	13 500 \$	14 709 \$	30 594 \$		630 303 \$
	F4	234 500 \$	115 354 \$	20 570 \$	96 320 \$	200 345 \$		667 088 \$
	Tot	641 002 \$	529 405 \$	62 611 \$	163 344 \$	339 755 \$	175 287 \$	1 911 403 \$
30	F1	219 765 \$	39 421 \$	13 649 \$	30 390 \$	63 212 \$		366 437 \$
	F2	217 241 \$	835 706 \$	14 892 \$	21 925 \$	45 604 \$		1 135 367 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	13 500 \$	46 513 \$	96 747 \$		637 760 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	20 570 \$	9 632 \$	20 035 \$		775 290 \$
	Tot	1 449 206 \$	1 068 980 \$	62 611 \$	108 460 \$	225 597 \$	175 287 \$	3 090 140 \$
31	F1	219 765 \$	39 421 \$	13 649 \$	30 390 \$	63 212 \$		366 437 \$
	F2	217 241 \$	835 706 \$	14 892 \$	109 624 \$	228 018 \$		1 405 480 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	13 500 \$	7 354 \$	15 297 \$		517 151 \$
	F4	609 700 \$	229 707 \$	20 570 \$	166 831 \$	347 008 \$		1 373 816 \$
	Tot	1 449 206 \$	1 183 334 \$	62 611 \$	314 199 \$	653 534 \$	175 287 \$	3 838 171 \$
32	F1	74 922 \$	39 421 \$	13 649 \$	30 390 \$	63 212 \$		221 594 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	14 892 \$	109 624 \$	228 018 \$		487 244 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	13 500 \$	23 257 \$	48 374 \$		656 630 \$
	F4	234 500 \$	229 707 \$	20 570 \$	16 683 \$	34 701 \$		536 161 \$
	Tot	641 002 \$	643 759 \$	62 611 \$	179 954 \$	374 304 \$	175 287 \$	2 076 916 \$

Résultats détaillés transports directs

# test	Fournisseur	Coûts								Total
		commande	emballage	expédition	inv. Fourn	mise en route	transport	Inventaire BBD	global	
1	F1	74 922 \$	154 683 \$	2 023 \$	- \$	12 642 \$	18 964 \$	6 078 \$	269 311 \$	
	F2	74 080 \$	835 706 \$	3 648 \$	- \$	22 802 \$	22 802 \$	10 962 \$	970 000 \$	
	F3	257 500 \$	314 000 \$	3 059 \$	- \$	15 297 \$	9 178 \$	7 354 \$	606 389 \$	
	F4	234 500 \$	229 707 \$	3 784 \$	- \$	20 035 \$	15 137 \$	9 632 \$	512 795 \$	
	Tot	641 002 \$	1 534 096 \$	12 515 \$	- \$	70 776 \$	66 081 \$	34 027 \$		2 358 496 \$
2	F1	219 765 \$	154 683 \$	2 023 \$	- \$	12 642 \$	18 964 \$	6 078 \$	414 154 \$	
	F2	217 241 \$	60 631 \$	3 648 \$	- \$	22 802 \$	22 802 \$	10 962 \$	338 086 \$	
	F3	402 500 \$	78 500 \$	9 675 \$	- \$	48 374 \$	29 024 \$	23 257 \$	591 329 \$	
	F4	609 700 \$	229 707 \$	37 843 \$	- \$	200 345 \$	151 372 \$	96 320 \$	1 325 287 \$	
	Tot	1 449 206 \$	523 521 \$	53 189 \$	- \$	284 163 \$	222 161 \$	136 617 \$		2 668 856 \$
3	F1	219 765 \$	154 683 \$	2 023 \$	- \$	12 642 \$	18 964 \$	6 078 \$	414 154 \$	
	F2	217 241 \$	60 631 \$	18 241 \$	- \$	456 035 \$	114 009 \$	219 248 \$	1 085 405 \$	
	F3	402 500 \$	78 500 \$	1 530 \$	- \$	30 594 \$	4 589 \$	14 709 \$	532 422 \$	
	F4	609 700 \$	115 354 \$	2 185 \$	- \$	34 701 \$	8 739 \$	16 683 \$	787 362 \$	
	Tot	1 449 206 \$	409 167 \$	23 979 \$	- \$	533 973 \$	146 301 \$	256 718 \$		2 819 343 \$
4	F1	74 922 \$	154 683 \$	2 023 \$	- \$	12 642 \$	18 964 \$	6 078 \$	269 311 \$	
	F2	74 080 \$	835 706 \$	18 241 \$	- \$	456 035 \$	114 009 \$	219 248 \$	1 717 319 \$	
	F3	257 500 \$	314 000 \$	4 837 \$	- \$	96 747 \$	14 512 \$	46 513 \$	734 110 \$	
	F4	234 500 \$	115 354 \$	21 849 \$	- \$	347 008 \$	87 395 \$	166 831 \$	972 935 \$	
	Tot	641 002 \$	1 419 742 \$	46 950 \$	- \$	912 433 \$	234 879 \$	438 669 \$		3 693 675 \$
5	F1	219 765 \$	39 421 \$	2 023 \$	- \$	12 642 \$	18 964 \$	6 078 \$		
	F2	217 241 \$	835 706 \$	1 824 \$	- \$	45 604 \$	11 401 \$	21 925 \$		
	F3	402 500 \$	78 500 \$	3 059 \$	- \$	15 297 \$	9 178 \$	7 354 \$		
	F4	609 700 \$	229 707 \$	2 185 \$	- \$	34 701 \$	8 739 \$	16 683 \$		
	Tot	1 449 206 \$	1 183 334 \$	9 091 \$	- \$	108 244 \$	48 282 \$	52 040 \$		2 850 197 \$
6	F1	74 922 \$	39 421 \$	2 023 \$	- \$	12 642 \$	18 964 \$	6 078 \$	154 049 \$	
	F2	74 080 \$	60 631 \$	1 824 \$	- \$	45 604 \$	11 401 \$	21 925 \$	215 464 \$	
	F3	257 500 \$	314 000 \$	9 675 \$	- \$	48 374 \$	29 024 \$	23 257 \$	681 829 \$	
	F4	234 500 \$	229 707 \$	21 849 \$	- \$	347 008 \$	87 395 \$	166 831 \$	1 087 289 \$	
	Tot	641 002 \$	643 759 \$	35 370 \$	- \$	453 627 \$	146 783 \$	218 090 \$		2 138 631 \$
7	F1	74 922 \$	39 421 \$	2 023 \$	- \$	12 642 \$	18 964 \$	6 078 \$	154 049 \$	
	F2	74 080 \$	60 631 \$	36 483 \$	- \$	228 018 \$	228 018 \$	109 624 \$	736 853 \$	
	F3	257 500 \$	314 000 \$	1 530 \$	- \$	30 594 \$	4 589 \$	14 709 \$	622 922 \$	
	F4	234 500 \$	115 354 \$	3 784 \$	- \$	20 035 \$	15 137 \$	9 632 \$	398 442 \$	
	Tot	641 002 \$	529 405 \$	43 820 \$	- \$	291 289 \$	266 708 \$	140 043 \$		1 912 265 \$
8	F1	219 765 \$	39 421 \$	2 023 \$	- \$	12 642 \$	18 964 \$	6 078 \$	298 892 \$	
	F2	217 241 \$	835 706 \$	36 483 \$	- \$	228 018 \$	228 018 \$	109 624 \$	1 655 089 \$	
	F3	402 500 \$	78 500 \$	4 837 \$	- \$	96 747 \$	14 512 \$	46 513 \$	643 610 \$	
	F4	609 700 \$	115 354 \$	37 843 \$	- \$	200 345 \$	151 372 \$	96 320 \$	1 210 933 \$	
	Tot	1 449 206 \$	1 068 980 \$	81 186 \$	- \$	537 752 \$	412 865 \$	258 535 \$		3 808 523 \$
9	F1	74 922 \$	154 683 \$	1 279 \$	- \$	19 989 \$	11 994 \$	9 610 \$	272 477 \$	
	F2	74 080 \$	835 706 \$	1 824 \$	- \$	45 604 \$	11 401 \$	21 925 \$	990 539 \$	
	F3	257 500 \$	78 500 \$	1 530 \$	- \$	30 594 \$	4 589 \$	14 709 \$	387 422 \$	
	F4	234 500 \$	229 707 \$	37 843 \$	- \$	200 345 \$	151 372 \$	96 320 \$	950 087 \$	
	Tot	641 002 \$	1 298 596 \$	42 476 \$	- \$	296 532 \$	179 355 \$	142 564 \$		2 600 525 \$
10	F1	219 765 \$	154 683 \$	1 279 \$	- \$	19 989 \$	11 994 \$	9 610 \$	417 320 \$	
	F2	217 241 \$	60 631 \$	1 824 \$	- \$	45 604 \$	11 401 \$	21 925 \$	358 625 \$	
	F3	402 500 \$	314 000 \$	4 837 \$	- \$	96 747 \$	14 512 \$	46 513 \$	879 110 \$	
	F4	609 700 \$	229 707 \$	3 784 \$	- \$	20 035 \$	15 137 \$	9 632 \$	887 995 \$	
	Tot	1 449 206 \$	759 021 \$	11 725 \$	- \$	182 375 \$	53 044 \$	87 680 \$		2 543 050 \$
11	F1	219 765 \$	154 683 \$	1 279 \$	- \$	19 989 \$	11 994 \$	9 610 \$	417 320 \$	
	F2	217 241 \$	60 631 \$	36 483 \$	- \$	228 018 \$	228 018 \$	109 624 \$	880 014 \$	
	F3	402 500 \$	314 000 \$	3 059 \$	- \$	15 297 \$	9 178 \$	7 354 \$	751 389 \$	
	F4	609 700 \$	115 354 \$	21 849 \$	- \$	347 008 \$	87 395 \$	166 831 \$	1 348 135 \$	
	Tot	1 449 206 \$	644 667 \$	62 670 \$	- \$	610 312 \$	336 584 \$	293 419 \$		3 396 858 \$
12	F1	74 922 \$	154 683 \$	1 279 \$	- \$	19 989 \$	11 994 \$	9 610 \$	272 477 \$	
	F2	74 080 \$	835 706 \$	36 483 \$	- \$	228 018 \$	228 018 \$	109 624 \$	1 511 928 \$	
	F3	257 500 \$	78 500 \$	9 675 \$	- \$	48 374 \$	29 024 \$	23 257 \$	446 329 \$	
	F4	234 500 \$	115 354 \$	2 185 \$	- \$	34 701 \$	8 739 \$	16 683 \$	412 162 \$	
	Tot	641 002 \$	1 184 242 \$	49 622 \$	- \$	331 081 \$	277 775 \$	159 174 \$		2 642 896 \$

Résultats détaillés transports directs

# test	Fournisseur	Coûts								Total
		commande	emballage	expédition	inv. Fourn	mise en route	transport	Inventaire BBD	global	
13	F1	219 765 \$	39 421 \$	1 279 \$	- \$	19 989 \$	11 994 \$	9 610 \$	302 058 \$	
	F2	217 241 \$	835 706 \$	3 648 \$	- \$	22 802 \$	22 802 \$	10 962 \$	1 113 161 \$	
	F3	402 500 \$	314 000 \$	1 530 \$	- \$	30 594 \$	4 589 \$	14 709 \$	767 922 \$	
	F4	609 700 \$	229 707 \$	21 849 \$	- \$	347 008 \$	87 395 \$	166 831 \$	1 462 489 \$	
	Tot	1 449 206 \$	1 418 834 \$	28 306 \$	- \$	420 393 \$	126 779 \$	202 112 \$		3 645 629 \$
14	F1	74 922 \$	39 421 \$	1 279 \$	- \$	19 989 \$	11 994 \$	9 610 \$	157 215 \$	
	F2	74 080 \$	60 631 \$	3 648 \$	- \$	22 802 \$	22 802 \$	10 962 \$	194 925 \$	
	F3	257 500 \$	78 500 \$	4 837 \$	- \$	96 747 \$	14 512 \$	46 513 \$	498 610 \$	
	F4	234 500 \$	229 707 \$	2 185 \$	- \$	34 701 \$	8 739 \$	16 683 \$	526 516 \$	
	Tot	641 002 \$	408 259 \$	11 950 \$	- \$	174 239 \$	58 047 \$	83 769 \$		1 377 265 \$
15	F1	74 922 \$	39 421 \$	1 279 \$	- \$	19 989 \$	11 994 \$	9 610 \$	157 215 \$	
	F2	74 080 \$	60 631 \$	18 241 \$	- \$	456 035 \$	114 009 \$	219 248 \$	942 244 \$	
	F3	257 500 \$	78 500 \$	3 059 \$	- \$	15 297 \$	9 178 \$	7 354 \$	370 889 \$	
	F4	234 500 \$	115 354 \$	37 843 \$	- \$	200 345 \$	151 372 \$	96 320 \$	835 733 \$	
	Tot	641 002 \$	293 905 \$	60 423 \$	- \$	691 667 \$	286 552 \$	332 532 \$		2 306 081 \$
16	F1	219 765 \$	39 421 \$	1 279 \$	- \$	19 989 \$	11 994 \$	9 610 \$	302 058 \$	
	F2	217 241 \$	835 706 \$	18 241 \$	- \$	456 035 \$	114 009 \$	219 248 \$	1 860 480 \$	
	F3	402 500 \$	314 000 \$	9 675 \$	- \$	48 374 \$	29 024 \$	23 257 \$	826 829 \$	
	F4	609 700 \$	115 354 \$	3 784 \$	- \$	20 035 \$	15 137 \$	9 632 \$	773 642 \$	
	Tot	1 449 206 \$	1 304 480 \$	32 980 \$	- \$	544 433 \$	170 164 \$	261 746 \$		3 763 008 \$
17	F1	219 765 \$	154 683 \$	6 397 \$	- \$	39 979 \$	59 968 \$	19 221 \$	500 012 \$	
	F2	217 241 \$	60 631 \$	1 824 \$	- \$	45 604 \$	11 401 \$	21 925 \$	358 625 \$	
	F3	402 500 \$	314 000 \$	3 059 \$	- \$	15 297 \$	9 178 \$	7 354 \$	751 389 \$	
	F4	609 700 \$	115 354 \$	2 185 \$	- \$	34 701 \$	8 739 \$	16 683 \$	787 362 \$	
	Tot	1 449 206 \$	644 667 \$	13 465 \$	- \$	135 580 \$	89 287 \$	65 183 \$		2 397 387 \$
18	F1	74 922 \$	154 683 \$	6 397 \$	- \$	39 979 \$	59 968 \$	19 221 \$	355 169 \$	
	F2	74 080 \$	835 706 \$	1 824 \$	- \$	45 604 \$	11 401 \$	21 925 \$	990 539 \$	
	F3	257 500 \$	78 500 \$	9 675 \$	- \$	48 374 \$	29 024 \$	23 257 \$	446 329 \$	
	F4	234 500 \$	115 354 \$	21 849 \$	- \$	347 008 \$	87 395 \$	166 831 \$	972 935 \$	
	Tot	641 002 \$	1 184 242 \$	39 744 \$	- \$	480 964 \$	187 788 \$	231 233 \$		2 764 972 \$
19	F1	74 922 \$	154 683 \$	6 397 \$	- \$	39 979 \$	59 968 \$	19 221 \$	355 169 \$	
	F2	74 080 \$	835 706 \$	36 483 \$	- \$	228 018 \$	228 018 \$	109 624 \$	1 511 928 \$	
	F3	257 500 \$	78 500 \$	1 530 \$	- \$	30 594 \$	4 589 \$	14 709 \$	387 422 \$	
	F4	234 500 \$	229 707 \$	3 784 \$	- \$	20 035 \$	15 137 \$	9 632 \$	512 795 \$	
	Tot	641 002 \$	1 298 596 \$	48 193 \$	- \$	318 625 \$	307 712 \$	153 185 \$		2 767 313 \$
20	F1	219 765 \$	154 683 \$	6 397 \$	- \$	39 979 \$	59 968 \$	19 221 \$	500 012 \$	
	F2	217 241 \$	60 631 \$	36 483 \$	- \$	228 018 \$	228 018 \$	109 624 \$	880 014 \$	
	F3	402 500 \$	314 000 \$	4 837 \$	- \$	96 747 \$	14 512 \$	46 513 \$	879 110 \$	
	F4	609 700 \$	229 707 \$	37 843 \$	- \$	200 345 \$	151 372 \$	96 320 \$	1 325 287 \$	
	Tot	1 449 206 \$	759 021 \$	85 560 \$	- \$	565 089 \$	453 870 \$	271 677 \$		3 584 422 \$
21	F1	74 922 \$	39 421 \$	6 397 \$	- \$	39 979 \$	59 968 \$	19 221 \$	239 906 \$	
	F2	74 080 \$	60 631 \$	3 648 \$	- \$	22 802 \$	22 802 \$	10 962 \$	194 925 \$	
	F3	257 500 \$	78 500 \$	3 059 \$	- \$	15 297 \$	9 178 \$	7 354 \$	370 889 \$	
	F4	234 500 \$	115 354 \$	3 784 \$	- \$	20 035 \$	15 137 \$	9 632 \$	398 442 \$	
	Tot	641 002 \$	293 905 \$	16 889 \$	- \$	98 112 \$	107 085 \$	47 169 \$		1 204 162 \$
22	F1	219 765 \$	39 421 \$	6 397 \$	- \$	39 979 \$	59 968 \$	19 221 \$	384 749 \$	
	F2	217 241 \$	835 706 \$	3 648 \$	- \$	22 802 \$	22 802 \$	10 962 \$	1 113 161 \$	
	F3	402 500 \$	314 000 \$	9 675 \$	- \$	48 374 \$	29 024 \$	23 257 \$	826 829 \$	
	F4	609 700 \$	115 354 \$	37 843 \$	- \$	200 345 \$	151 372 \$	96 320 \$	1 210 933 \$	
	Tot	1 449 206 \$	1 304 480 \$	57 563 \$	- \$	311 499 \$	263 166 \$	149 759 \$		3 535 672 \$
23	F1	219 765 \$	39 421 \$	6 397 \$	- \$	39 979 \$	59 968 \$	19 221 \$	384 749 \$	
	F2	217 241 \$	835 706 \$	18 241 \$	- \$	456 035 \$	114 009 \$	219 248 \$	1 860 480 \$	
	F3	402 500 \$	314 000 \$	1 530 \$	- \$	30 594 \$	4 589 \$	14 709 \$	767 922 \$	
	F4	609 700 \$	229 707 \$	2 185 \$	- \$	34 701 \$	8 739 \$	16 683 \$	901 716 \$	
	Tot	1 449 206 \$	1 418 834 \$	28 353 \$	- \$	561 309 \$	187 306 \$	269 860 \$		3 914 866 \$
24	F1	74 922 \$	39 421 \$	6 397 \$	- \$	39 979 \$	59 968 \$	19 221 \$	239 906 \$	
	F2	74 080 \$	60 631 \$	18 241 \$	- \$	456 035 \$	114 009 \$	219 248 \$	942 244 \$	
	F3	257 500 \$	78 500 \$	4 837 \$	- \$	96 747 \$	14 512 \$	46 513 \$	498 610 \$	
	F4	234 500 \$	229 707 \$	21 849 \$	- \$	347 008 \$	87 395 \$	166 831 \$	1 087 289 \$	
	Tot	641 002 \$	408 259 \$	51 324 \$	- \$	939 769 \$	275 884 \$	451 812 \$		2 768 049 \$

Résultats détaillés transports directs

# test	Fournisseur	Coûts							
		commande	emballage	expédition	inv. Fourn	mise en route	transport	Inventaire BBD	global
25	F1	219 765 \$	154 683 \$	4 046 \$	- \$	63 212 \$	37 927 \$	30 390 \$	510 023 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	3 648 \$	- \$	22 802 \$	22 802 \$	10 962 \$	338 086 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	1 530 \$	- \$	30 594 \$	4 589 \$	14 709 \$	532 422 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	21 849 \$	- \$	347 008 \$	87 395 \$	166 831 \$	1 348 135 \$
	Tot	1 449 206 \$	409 167 \$	31 072 \$	- \$	463 616 \$	152 713 \$	222 892 \$	2 728 665 \$
26	F1	74 922 \$	154 683 \$	4 046 \$	- \$	63 212 \$	37 927 \$	30 390 \$	365 180 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	3 648 \$	- \$	22 802 \$	22 802 \$	10 962 \$	970 000 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	4 837 \$	- \$	96 747 \$	14 512 \$	46 513 \$	734 110 \$
	F4	234 500 \$	115 354 \$	2 185 \$	- \$	34 701 \$	8 739 \$	16 683 \$	412 162 \$
	Tot	641 002 \$	1 419 742 \$	14 716 \$	- \$	217 462 \$	83 980 \$	104 549 \$	2 481 451 \$
27	F1	74 922 \$	154 683 \$	4 046 \$	- \$	63 212 \$	37 927 \$	30 390 \$	365 180 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	18 241 \$	- \$	456 035 \$	114 009 \$	219 248 \$	1 717 319 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	3 059 \$	- \$	15 297 \$	9 178 \$	7 354 \$	606 389 \$
	F4	234 500 \$	229 707 \$	37 843 \$	- \$	200 345 \$	151 372 \$	96 320 \$	950 087 \$
	Tot	641 002 \$	1 534 096 \$	63 189 \$	- \$	734 889 \$	312 486 \$	353 312 \$	3 638 975 \$
28	F1	219 765 \$	154 683 \$	4 046 \$	- \$	63 212 \$	37 927 \$	30 390 \$	510 023 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	18 241 \$	- \$	456 035 \$	114 009 \$	219 248 \$	1 085 405 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	9 675 \$	- \$	48 374 \$	29 024 \$	23 257 \$	591 329 \$
	F4	609 700 \$	229 707 \$	3 784 \$	- \$	20 035 \$	15 137 \$	9 632 \$	887 995 \$
	Tot	1 449 206 \$	523 521 \$	35 746 \$	- \$	587 655 \$	196 097 \$	282 527 \$	3 074 752 \$
29	F1	74 922 \$	39 421 \$	4 046 \$	- \$	63 212 \$	37 927 \$	30 390 \$	249 917 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	1 824 \$	- \$	45 604 \$	11 401 \$	21 925 \$	215 464 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	1 530 \$	- \$	30 594 \$	4 589 \$	14 709 \$	622 922 \$
	F4	234 500 \$	115 354 \$	37 843 \$	- \$	200 345 \$	151 372 \$	96 320 \$	835 733 \$
	Tot	641 002 \$	529 405 \$	45 242 \$	- \$	339 755 \$	205 289 \$	163 344 \$	1 924 037 \$
30	F1	219 765 \$	39 421 \$	4 046 \$	- \$	63 212 \$	37 927 \$	30 390 \$	394 760 \$
	F2	217 241 \$	835 706 \$	1 824 \$	- \$	45 604 \$	11 401 \$	21 925 \$	1 133 700 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	4 837 \$	- \$	96 747 \$	14 512 \$	46 513 \$	643 610 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	3 784 \$	- \$	20 035 \$	15 137 \$	9 632 \$	773 642 \$
	Tot	1 449 206 \$	1 068 980 \$	14 491 \$	- \$	225 597 \$	78 977 \$	108 460 \$	2 945 712 \$
31	F1	219 765 \$	39 421 \$	4 046 \$	- \$	63 212 \$	37 927 \$	30 390 \$	394 760 \$
	F2	217 241 \$	835 706 \$	36 483 \$	- \$	228 018 \$	228 018 \$	109 624 \$	1 655 089 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	3 059 \$	- \$	15 297 \$	9 178 \$	7 354 \$	515 889 \$
	F4	609 700 \$	229 707 \$	21 849 \$	- \$	347 008 \$	87 395 \$	166 831 \$	1 462 489 \$
	Tot	1 449 206 \$	1 183 334 \$	65 436 \$	- \$	653 534 \$	362 518 \$	314 199 \$	4 028 227 \$
32	F1	74 922 \$	39 421 \$	4 046 \$	- \$	63 212 \$	37 927 \$	30 390 \$	249 917 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	36 483 \$	- \$	228 018 \$	228 018 \$	109 624 \$	736 853 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	9 675 \$	- \$	48 374 \$	29 024 \$	23 257 \$	681 829 \$
	F4	234 500 \$	229 707 \$	2 185 \$	- \$	34 701 \$	8 739 \$	16 683 \$	526 516 \$
	Tot	641 002 \$	643 759 \$	52 388 \$	- \$	374 304 \$	303 708 \$	179 954 \$	2 195 115 \$

Résultats détaillés entrepôt de distribution

		Coûts								
# test	Fournisseur	commande	emballage	expédition	inv. Fourn	mise en route	transport	Expéd entr	Inv Entr	global
1	F1	74 922 \$	154 683 \$	2 023 \$	- \$	12 642 \$	18 964 \$		6 078 \$	269 311 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	3 648 \$	- \$	22 802 \$	28 502 \$		10 962 \$	975 701 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	3 059 \$	- \$	15 297 \$	14 277 \$		7 354 \$	611 488 \$
	F4	234 500 \$	229 707 \$	3 784 \$	- \$	20 035 \$	19 589 \$		9 632 \$	517 247 \$
	Tot	641 002 \$	1 534 096 \$	12 515 \$	- \$	70 776 \$	82 372 \$	80 000 \$	34 027 \$	2 454 787 \$
2	F1	219 765 \$	154 683 \$	2 023 \$	- \$	12 642 \$	18 964 \$		6 078 \$	414 154 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	3 648 \$	- \$	22 802 \$	28 502 \$		10 962 \$	343 786 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	9 675 \$	- \$	48 374 \$	45 149 \$		23 257 \$	607 453 \$
	F4	609 700 \$	229 707 \$	37 843 \$	- \$	200 345 \$	195 893 \$		96 320 \$	1 369 808 \$
	Tot	1 449 206 \$	523 521 \$	53 189 \$	- \$	284 163 \$	289 547 \$	80 000 \$	136 617 \$	2 816 242 \$
3	F1	219 765 \$	154 683 \$	2 023 \$	- \$	12 642 \$	18 964 \$		6 078 \$	414 154 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	18 241 \$	- \$	456 035 \$	142 511 \$		219 248 \$	1 113 907 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	1 530 \$	- \$	30 594 \$	7 139 \$		14 709 \$	534 971 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	2 185 \$	- \$	34 701 \$	11 310 \$		16 683 \$	789 932 \$
	Tot	1 449 206 \$	409 167 \$	23 979 \$	- \$	533 973 \$	180 963 \$	80 000 \$	256 718 \$	2 934 005 \$
4	F1	74 922 \$	154 683 \$	2 023 \$	- \$	12 642 \$	18 964 \$		6 078 \$	269 311 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	18 241 \$	- \$	456 035 \$	142 511 \$		219 248 \$	1 745 821 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	4 837 \$	- \$	96 747 \$	22 574 \$		46 513 \$	742 172 \$
	F4	234 500 \$	115 354 \$	21 849 \$	- \$	347 008 \$	113 099 \$		166 831 \$	998 640 \$
	Tot	641 002 \$	1 419 742 \$	46 950 \$	- \$	912 433 \$	298 188 \$	80 000 \$	438 669 \$	3 836 984 \$
5	F1	219 765 \$	39 421 \$	2 023 \$	- \$	12 642 \$	18 964 \$		6 078 \$	
	F2	217 241 \$	835 706 \$	1 824 \$	- \$	45 604 \$	14 251 \$		21 925 \$	
	F3	402 500 \$	78 500 \$	3 059 \$	- \$	15 297 \$	14 277 \$		7 354 \$	
	F4	609 700 \$	229 707 \$	2 185 \$	- \$	34 701 \$	11 310 \$		16 683 \$	
	Tot	1 449 206 \$	1 183 334 \$	9 091 \$	- \$	108 244 \$	59 842 \$	80 000 \$	52 040 \$	2 941 756 \$
6	F1	74 922 \$	39 421 \$	2 023 \$	- \$	12 642 \$	18 964 \$		6 078 \$	154 049 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	1 824 \$	- \$	45 604 \$	14 251 \$		21 925 \$	218 314 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	9 675 \$	- \$	48 374 \$	45 149 \$		23 257 \$	697 953 \$
	F4	234 500 \$	229 707 \$	21 849 \$	- \$	347 008 \$	113 099 \$		166 831 \$	1 112 993 \$
	Tot	641 002 \$	643 759 \$	35 370 \$	- \$	453 627 \$	192 502 \$	80 000 \$	218 090 \$	2 264 350 \$
7	F1	74 922 \$	39 421 \$	2 023 \$	- \$	12 642 \$	18 964 \$		6 078 \$	154 049 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	36 483 \$	- \$	228 018 \$	285 022 \$		109 624 \$	793 857 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	1 530 \$	- \$	30 594 \$	7 139 \$		14 709 \$	625 471 \$
	F4	234 500 \$	115 354 \$	3 784 \$	- \$	20 035 \$	19 589 \$		9 632 \$	402 894 \$
	Tot	641 002 \$	529 405 \$	43 820 \$	- \$	291 289 \$	331 754 \$	80 000 \$	140 043 \$	2 057 311 \$
8	F1	219 765 \$	39 421 \$	2 023 \$	- \$	12 642 \$	18 964 \$		6 078 \$	298 892 \$
	F2	217 241 \$	835 706 \$	36 483 \$	- \$	228 018 \$	285 022 \$		109 624 \$	1 712 093 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	4 837 \$	- \$	96 747 \$	22 574 \$		46 513 \$	651 672 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	37 843 \$	- \$	200 345 \$	195 893 \$		96 320 \$	1 255 454 \$
	Tot	1 449 206 \$	1 068 980 \$	81 186 \$	- \$	537 752 \$	523 493 \$	80 000 \$	258 535 \$	3 999 151 \$
9	F1	74 922 \$	154 683 \$	1 279 \$	- \$	19 989 \$	11 994 \$		9 610 \$	272 477 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	1 824 \$	- \$	45 604 \$	14 251 \$		21 925 \$	993 390 \$
	F3	257 500 \$	78 500 \$	1 530 \$	- \$	30 594 \$	7 139 \$		14 709 \$	389 971 \$
	F4	234 500 \$	229 707 \$	37 843 \$	- \$	200 345 \$	195 893 \$		96 320 \$	994 608 \$
	Tot	641 002 \$	1 298 596 \$	42 476 \$	- \$	296 532 \$	230 316 \$	80 000 \$	142 564 \$	2 731 486 \$
10	F1	219 765 \$	154 683 \$	1 279 \$	- \$	19 989 \$	11 994 \$		9 610 \$	417 320 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	1 824 \$	- \$	45 604 \$	14 251 \$		21 925 \$	361 475 \$
	F3	402 500 \$	314 000 \$	4 837 \$	- \$	96 747 \$	22 574 \$		46 513 \$	887 172 \$
	F4	609 700 \$	229 707 \$	3 784 \$	- \$	20 035 \$	19 589 \$		9 632 \$	892 447 \$
	Tot	1 449 206 \$	759 021 \$	11 725 \$	- \$	182 375 \$	69 448 \$	80 000 \$	87 680 \$	2 639 454 \$
11	F1	219 765 \$	154 683 \$	1 279 \$	- \$	19 989 \$	11 994 \$		9 610 \$	417 320 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	36 483 \$	- \$	228 018 \$	285 022 \$		109 624 \$	937 018 \$
	F3	402 500 \$	314 000 \$	3 059 \$	- \$	15 297 \$	14 277 \$		7 354 \$	756 488 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	21 849 \$	- \$	347 008 \$	113 099 \$		166 831 \$	1 373 840 \$
	Tot	1 449 206 \$	644 667 \$	62 670 \$	- \$	610 312 \$	425 432 \$	80 000 \$	293 419 \$	3 565 706 \$
12	F1	74 922 \$	154 683 \$	1 279 \$	- \$	19 989 \$	11 994 \$		9 610 \$	272 477 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	36 483 \$	- \$	228 018 \$	285 022 \$		109 624 \$	1 568 932 \$
	F3	257 500 \$	78 500 \$	9 675 \$	- \$	48 374 \$	45 149 \$		23 257 \$	462 453 \$
	F4	234 500 \$	115 354 \$	2 185 \$	- \$	34 701 \$	11 310 \$		16 683 \$	414 732 \$

Résultats détaillés entrepôt de distribution

		Coûts								
# test	Fournisseur	commande	emballage	expédition	inv. Fourn	mise en route	transport	Expéd entr	Inv Entr	global
	Tot	641 002 \$	1 184 242 \$	49 622 \$	- \$	331 081 \$	354 514 \$	80 000 \$	159 174 \$	2 799 635 \$
13	F1	219 765 \$	39 421 \$	1 279 \$	- \$	19 989 \$	11 994 \$		9 610 \$	302 058 \$
	F2	217 241 \$	835 706 \$	3 648 \$	- \$	22 802 \$	28 502 \$		10 962 \$	1 118 861 \$
	F3	402 500 \$	314 000 \$	1 530 \$	- \$	30 594 \$	7 139 \$		14 709 \$	770 471 \$
	F4	609 700 \$	229 707 \$	21 849 \$	- \$	347 008 \$	113 099 \$		166 831 \$	1 488 193 \$
	Tot	1 449 206 \$	1 418 834 \$	28 306 \$	- \$	420 393 \$	161 773 \$	80 000 \$	202 112 \$	3 760 624 \$
14	F1	74 922 \$	39 421 \$	1 279 \$	- \$	19 989 \$	11 994 \$		9 610 \$	157 215 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	3 648 \$	- \$	22 802 \$	28 502 \$		10 962 \$	200 626 \$
	F3	257 500 \$	78 500 \$	4 837 \$	- \$	96 747 \$	22 574 \$		46 513 \$	506 672 \$
	F4	234 500 \$	229 707 \$	2 185 \$	- \$	34 701 \$	11 310 \$		16 683 \$	529 086 \$
	Tot	641 002 \$	408 259 \$	11 950 \$	- \$	174 239 \$	75 420 \$	80 000 \$	83 769 \$	1 474 638 \$
15	F1	74 922 \$	39 421 \$	1 279 \$	- \$	19 989 \$	11 994 \$		9 610 \$	157 215 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	18 241 \$	- \$	456 035 \$	142 511 \$		219 248 \$	970 746 \$
	F3	257 500 \$	78 500 \$	3 059 \$	- \$	15 297 \$	14 277 \$		7 354 \$	375 988 \$
	F4	234 500 \$	115 354 \$	37 843 \$	- \$	200 345 \$	195 893 \$		96 320 \$	880 254 \$
	Tot	641 002 \$	293 905 \$	60 423 \$	- \$	691 667 \$	365 715 \$	80 000 \$	332 532 \$	2 465 244 \$
16	F1	219 765 \$	39 421 \$	1 279 \$	- \$	19 989 \$	11 994 \$		9 610 \$	302 058 \$
	F2	217 241 \$	835 706 \$	18 241 \$	- \$	456 035 \$	142 511 \$		219 248 \$	1 888 982 \$
	F3	402 500 \$	314 000 \$	9 675 \$	- \$	48 374 \$	45 149 \$		23 257 \$	842 953 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	3 784 \$	- \$	20 035 \$	19 589 \$		9 632 \$	778 094 \$
	Tot	1 449 206 \$	1 304 480 \$	32 980 \$	- \$	544 433 \$	220 283 \$	80 000 \$	261 746 \$	3 893 127 \$
17	F1	219 765 \$	154 683 \$	6 397 \$	- \$	39 979 \$	59 968 \$		19 221 \$	500 012 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	1 824 \$	- \$	45 604 \$	14 251 \$		21 925 \$	361 475 \$
	F3	402 500 \$	314 000 \$	3 059 \$	- \$	15 297 \$	14 277 \$		7 354 \$	756 488 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	2 185 \$	- \$	34 701 \$	11 310 \$		16 683 \$	789 932 \$
	Tot	1 449 206 \$	644 667 \$	13 465 \$	- \$	135 580 \$	100 846 \$	80 000 \$	65 183 \$	2 488 947 \$
18	F1	74 922 \$	154 683 \$	6 397 \$	- \$	39 979 \$	59 968 \$		19 221 \$	355 169 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	1 824 \$	- \$	45 604 \$	14 251 \$		21 925 \$	993 390 \$
	F3	257 500 \$	78 500 \$	9 675 \$	- \$	48 374 \$	45 149 \$		23 257 \$	462 453 \$
	F4	234 500 \$	115 354 \$	21 849 \$	- \$	347 008 \$	113 099 \$		166 831 \$	998 640 \$
	Tot	641 002 \$	1 184 242 \$	39 744 \$	- \$	480 964 \$	233 507 \$	80 000 \$	231 233 \$	2 890 691 \$
19	F1	74 922 \$	154 683 \$	6 397 \$	- \$	39 979 \$	59 968 \$		19 221 \$	355 169 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	36 483 \$	- \$	228 018 \$	285 022 \$		109 624 \$	1 568 932 \$
	F3	257 500 \$	78 500 \$	1 530 \$	- \$	30 594 \$	7 139 \$		14 709 \$	389 971 \$
	F4	234 500 \$	229 707 \$	3 784 \$	- \$	20 035 \$	19 589 \$		9 632 \$	517 247 \$
	Tot	641 002 \$	1 298 596 \$	48 193 \$	- \$	318 625 \$	372 758 \$	80 000 \$	153 185 \$	2 912 359 \$
20	F1	219 765 \$	154 683 \$	6 397 \$	- \$	39 979 \$	59 968 \$		19 221 \$	500 012 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	36 483 \$	- \$	228 018 \$	285 022 \$		109 624 \$	937 018 \$
	F3	402 500 \$	314 000 \$	4 837 \$	- \$	96 747 \$	22 574 \$		46 513 \$	887 172 \$
	F4	609 700 \$	229 707 \$	37 843 \$	- \$	200 345 \$	195 893 \$		96 320 \$	1 369 808 \$
	Tot	1 449 206 \$	759 021 \$	85 560 \$	- \$	565 089 \$	564 497 \$	80 000 \$	271 677 \$	3 775 049 \$
21	F1	74 922 \$	39 421 \$	6 397 \$	- \$	39 979 \$	59 968 \$		19 221 \$	239 906 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	3 648 \$	- \$	22 802 \$	28 502 \$		10 962 \$	200 626 \$
	F3	257 500 \$	78 500 \$	3 059 \$	- \$	15 297 \$	14 277 \$		7 354 \$	375 988 \$
	F4	234 500 \$	115 354 \$	3 784 \$	- \$	20 035 \$	19 589 \$		9 632 \$	402 894 \$
	Tot	641 002 \$	293 905 \$	16 889 \$	- \$	98 112 \$	123 377 \$	80 000 \$	47 169 \$	1 300 454 \$
22	F1	219 765 \$	39 421 \$	6 397 \$	- \$	39 979 \$	59 968 \$		19 221 \$	384 749 \$
	F2	217 241 \$	835 706 \$	3 648 \$	- \$	22 802 \$	28 502 \$		10 962 \$	1 118 861 \$
	F3	402 500 \$	314 000 \$	9 675 \$	- \$	48 374 \$	45 149 \$		23 257 \$	842 953 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	37 843 \$	- \$	200 345 \$	195 893 \$		96 320 \$	1 255 454 \$
	Tot	1 449 206 \$	1 304 480 \$	57 563 \$	- \$	311 499 \$	330 552 \$	80 000 \$	149 759 \$	3 683 058 \$
23	F1	219 765 \$	39 421 \$	6 397 \$	- \$	39 979 \$	59 968 \$		19 221 \$	384 749 \$
	F2	217 241 \$	835 706 \$	18 241 \$	- \$	456 035 \$	142 511 \$		219 248 \$	1 888 982 \$
	F3	402 500 \$	314 000 \$	1 530 \$	- \$	30 594 \$	7 139 \$		14 709 \$	770 471 \$
	F4	609 700 \$	229 707 \$	2 185 \$	- \$	34 701 \$	11 310 \$		16 683 \$	904 286 \$
	Tot	1 449 206 \$	1 418 834 \$	28 353 \$	- \$	561 309 \$	221 968 \$	80 000 \$	269 860 \$	4 029 529 \$
24	F1	74 922 \$	39 421 \$	6 397 \$	- \$	39 979 \$	59 968 \$		19 221 \$	239 906 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	18 241 \$	- \$	456 035 \$	142 511 \$		219 248 \$	970 746 \$
	F3	257 500 \$	78 500 \$	4 837 \$	- \$	96 747 \$	22 574 \$		46 513 \$	506 672 \$

Résultats détaillés entrepôt de distribution

# test	Fournisseur	Coûts								
		commande	emballage	expédition	Inv. Fourn	mise en route	transport	Expéd entr	Inv Entr	global
	F4	234 500 \$	229 707 \$	21 849 \$	- \$	347 008 \$	113 099 \$		166 831 \$	1 112 993 \$
	Tot	641 002 \$	408 259 \$	51 324 \$	- \$	939 769 \$	339 192 \$	80 000 \$	451 812 \$	2 911 358 \$
25	F1	219 765 \$	154 683 \$	4 046 \$	- \$	63 212 \$	37 927 \$		30 390 \$	510 023 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	3 648 \$	- \$	22 802 \$	28 502 \$		10 962 \$	343 786 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	1 530 \$	- \$	30 594 \$	7 139 \$		14 709 \$	534 971 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	21 849 \$	- \$	347 008 \$	113 099 \$		166 831 \$	1 373 840 \$
	Tot	1 449 206 \$	409 167 \$	31 072 \$	- \$	463 616 \$	187 707 \$	80 000 \$	222 892 \$	2 843 660 \$
26	F1	74 922 \$	154 683 \$	4 046 \$	- \$	63 212 \$	37 927 \$		30 390 \$	365 180 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	3 648 \$	- \$	22 802 \$	28 502 \$		10 962 \$	975 701 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	4 837 \$	- \$	96 747 \$	22 574 \$		46 513 \$	742 172 \$
	F4	234 500 \$	115 354 \$	2 185 \$	- \$	34 701 \$	11 310 \$		16 683 \$	414 732 \$
	Tot	641 002 \$	1 419 742 \$	14 716 \$	- \$	217 462 \$	101 354 \$	80 000 \$	104 549 \$	2 578 824 \$
27	F1	74 922 \$	154 683 \$	4 046 \$	- \$	63 212 \$	37 927 \$		30 390 \$	365 180 \$
	F2	74 080 \$	835 706 \$	18 241 \$	- \$	456 035 \$	142 511 \$		219 248 \$	1 745 821 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	3 059 \$	- \$	15 297 \$	14 277 \$		7 354 \$	611 488 \$
	F4	234 500 \$	229 707 \$	37 843 \$	- \$	200 345 \$	195 893 \$		96 320 \$	994 608 \$
	Tot	641 002 \$	1 534 096 \$	63 189 \$	- \$	734 889 \$	391 648 \$	80 000 \$	353 312 \$	3 798 137 \$
28	F1	219 765 \$	154 683 \$	4 046 \$	- \$	63 212 \$	37 927 \$		30 390 \$	510 023 \$
	F2	217 241 \$	60 631 \$	18 241 \$	- \$	456 035 \$	142 511 \$		219 248 \$	1 113 907 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	9 675 \$	- \$	48 374 \$	45 149 \$		23 257 \$	607 453 \$
	F4	609 700 \$	229 707 \$	3 784 \$	- \$	20 035 \$	19 589 \$		9 632 \$	892 447 \$
	Tot	1 449 206 \$	523 521 \$	35 746 \$	- \$	587 655 \$	246 216 \$	80 000 \$	282 527 \$	3 204 870 \$
29	F1	74 922 \$	39 421 \$	4 046 \$	- \$	63 212 \$	37 927 \$		30 390 \$	249 917 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	1 824 \$	- \$	45 604 \$	14 251 \$		21 925 \$	218 314 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	1 530 \$	- \$	30 594 \$	7 139 \$		14 709 \$	625 471 \$
	F4	234 500 \$	115 354 \$	37 843 \$	- \$	200 345 \$	195 893 \$		96 320 \$	880 254 \$
	Tot	641 002 \$	529 405 \$	45 242 \$	- \$	339 755 \$	256 250 \$	80 000 \$	163 344 \$	2 054 997 \$
30	F1	219 765 \$	39 421 \$	4 046 \$	- \$	63 212 \$	37 927 \$		30 390 \$	394 760 \$
	F2	217 241 \$	835 706 \$	1 824 \$	- \$	45 604 \$	14 251 \$		21 925 \$	1 136 550 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	4 837 \$	- \$	96 747 \$	22 574 \$		46 513 \$	651 672 \$
	F4	609 700 \$	115 354 \$	3 784 \$	- \$	20 035 \$	19 589 \$		9 632 \$	778 094 \$
	Tot	1 449 206 \$	1 068 980 \$	14 491 \$	- \$	225 597 \$	95 382 \$	80 000 \$	108 460 \$	3 042 116 \$
31	F1	219 765 \$	39 421 \$	4 046 \$	- \$	63 212 \$	37 927 \$		30 390 \$	394 760 \$
	F2	217 241 \$	835 706 \$	36 483 \$	- \$	228 018 \$	285 022 \$		109 624 \$	1 712 093 \$
	F3	402 500 \$	78 500 \$	3 059 \$	- \$	15 297 \$	14 277 \$		7 354 \$	520 988 \$
	F4	609 700 \$	229 707 \$	21 849 \$	- \$	347 008 \$	113 099 \$		166 831 \$	1 488 193 \$
	Tot	1 449 206 \$	1 183 334 \$	65 436 \$	- \$	653 534 \$	451 365 \$	80 000 \$	314 199 \$	4 197 075 \$
32	F1	74 922 \$	39 421 \$	4 046 \$	- \$	63 212 \$	37 927 \$		30 390 \$	249 917 \$
	F2	74 080 \$	60 631 \$	36 483 \$	- \$	228 018 \$	285 022 \$		109 624 \$	793 857 \$
	F3	257 500 \$	314 000 \$	9 675 \$	- \$	48 374 \$	45 149 \$		23 257 \$	697 953 \$
	F4	234 500 \$	229 707 \$	2 185 \$	- \$	34 701 \$	11 310 \$		16 683 \$	529 086 \$
	Tot	641 002 \$	643 759 \$	52 388 \$	- \$	374 304 \$	380 448 \$	80 000 \$	179 954 \$	2 351 854 \$

ANNEXE L

Résultats des tests de Newman-
Keuls pour le design global

Tests de moyennes
Tournée de véhicules

The ANOVA Procedure

Student-Newman-Keuls Test for R

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate under the complete null hypothesis but not under partial null hypotheses.

PROD1

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 18
Error Mean Square 2.215E10

Number of Means 2
Critical Range 110544.28

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	PROD1
A	2864549	16	2
A	2793316	16	1

SU1

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 18
Error Mean Square 2.215E10

Number of Means 2
Critical Range 110544.28

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	SU1
A	2830757	16	2
A	2827108	16	1

EMB1

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 18
Error Mean Square 2.215E10

Number of Means 2
Critical Range 110544.28

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	EMB1
A	2877067	16	1
A	2780797	16	2

PROD2

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 2.215E10

Number of Means 2
 Critical Range 110544.28

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	PROD2
A	3047344	16	2
B	2610520	16	1

SU2

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 2.215E10

Number of Means 2
 Critical Range 110544.28

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	SU2
A	2912287	16	2
B	2745577	16	1

EMB2

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 2.215E10

Number of Means 2
 Critical Range 110544.28

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	EMB2
A	3206973	16	1
B	2450891	16	2

PROD3

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 2.215E10

Number of Means 2
 Critical Range 110544.28

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	PROD3
A	2856170	16	2
A	2801694	16	1

SU3

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 2.215E10

Number of Means 2
 Critical Range 110544.28

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	SU3
A	2843006	16	2
A	2814858	16	1

EMB3

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 2.215E10

Number of Means 2
 Critical Range 110544.28

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	EMB3
A	2937186	16	1
B	2720678	16	2

PROD4

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 2.215E10

Number of Means 2
 Critical Range 110544.28

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	PROD4
A	3001799	16	2
B	2656065	16	1

SU4

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 2.215E10

Number of Means 2
 Critical Range 110544.28

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	SU4
A	2879159	16	2
A	2778705	16	1

EMB4

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 2.215E10

Number of Means 2
 Critical Range 110544.28

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	EMB4
A	2876613	16	1
A	2781251	16	2

AME

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 2.215E10

Number of Means 2
 Critical Range 110544.28

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	AME
A	3223538	16	2
B	2434326	16	1

**Tests de moyennes
Transports directs**

The ANOVA Procedure

Student-Newman-Keuls Test for R

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate under the complete null hypothesis but not under partial null hypotheses.

PROD1

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 18
Error Mean Square 5.6381E9

Number of Means 2
Critical Range 55773.855

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	PROD1
A	2872111	16	2
B	2782831	16	1

SU1

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 18
Error Mean Square 5.6381E9

Number of Means 2
Critical Range 55773.855

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	SU1
A	2830765	16	2
A	2824177	16	1

EMB1

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 18
Error Mean Square 5.6381E9

Number of Means 2
Critical Range 55773.855

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	EMB1
A	2885102	16	1
B	2769840	16	2

PROD2

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 5.6381E9

Number of Means 2
 Critical Range 55773.855

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	PROD2
A	3144648	16	2
B	2510294	16	1

SU2

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 5.6381E9

Number of Means 2
 Critical Range 55773.855

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	SU2
A	2883954	16	2
B	2770988	16	1

EMB2

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 5.6381E9

Number of Means 2
 Critical Range 55773.855

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	EMB2
A	3215009	16	1
B	2439934	16	2

PROD3

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 5.6381E9

Number of Means 2
 Critical Range 55773.855

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	PROD3
A	2874128	16	2
B	2780814	16	1

SU3

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 5.6381E9

Number of Means 2
 Critical Range 55773.855

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	SU3
A	2844674	16	2
A	2810268	16	1

EMB3

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 5.6381E9

Number of Means 2
 Critical Range 55773.855

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	EMB3
A	2945221	16	1
B	2709721	16	2

PROD4

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 5.6381E9

Number of Means 2
 Critical Range 55773.855

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	PROD4
A	3076987	16	2
B	2577955	16	1

SU4

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 5.6381E9

Number of Means 2
 Critical Range 55773.855

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	SU4
A	2865202	16	2
B	2789741	16	1

EMB4

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 5.6381E9

Number of Means 2
 Critical Range 55773.855

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	EMB4
A	2884648	16	1
B	2770294	16	2

AME

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 5.6381E9

Number of Means 2
 Critical Range 55773.855

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	AME
A	3231573	16	2
B	2423369	16	1

**Tests de moyennes
Entrepôt de distribution**

The ANOVA Procedure

Student-Newman-Keuls Test for R

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate under the complete null hypothesis but not under partial null hypotheses.

PROD1

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	4.1842E9
Number of Means	2
Critical Range	48047.701

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	PROD1
A	3003936	16	2
B	2914656	16	1

SU1

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	4.1842E9
Number of Means	2
Critical Range	48047.701

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	SU1
A	2962590	16	2
A	2956002	16	1

EMB1

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	4.1842E9
Number of Means	2
Critical Range	48047.701

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	EMB1
A	3016927	16	1
B	2901665	16	2

PROD2

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 4.1842E9

Number of Means 2
 Critical Range 48047.701

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	PROD2
A	3295712	16	2
B	2622880	16	1

SU2

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 4.1842E9

Number of Means 2
 Critical Range 48047.701

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	SU2
A	3007941	16	2
B	2910652	16	1

EMB2

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 4.1842E9

Number of Means 2
 Critical Range 48047.701

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	EMB2
A	3346834	16	1
B	2571759	16	2

PROD3

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 4.1842E9

Number of Means 2
 Critical Range 48047.701

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	PROD3
A	3010088	16	2
B	2908505	16	1

SU3

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 4.1842E9

Number of Means 2
 Critical Range 48047.701

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	SU3
A	2973847	16	2
A	2944746	16	1

EMB3

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 4.1842E9

Number of Means 2
 Critical Range 48047.701

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	EMB3
A	3077046	16	1
B	2841546	16	2

PROD4

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 4.1842E9

Number of Means 2
 Critical Range 48047.701

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	PROD4
A	3224613	16	2
B	2693979	16	1

SU4

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 4.1842E9

Number of Means 2
 Critical Range 48047.701

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	SU4
A	2991852	16	2
B	2926740	16	1

EMB4

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 4.1842E9

Number of Means 2
 Critical Range 48047.701

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	EMB4
A	3016473	16	1
B	2902119	16	2

AME

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 18
 Error Mean Square 4.1842E9

Number of Means 2
 Critical Range 48047.701

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	AME
A	3363398	16	2
B	2555194	16	1